

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS
EMPLEADAS EN LA CIMENTACIÓN DE EDIFICACIONES EN ALTURA: THE
BAHIA GRAND PANAMA (PANAMÁ) Y LA TORRE BD BACATÁ (COLOMBIA)**



**CATERINE ALEXANDRA RODRIGUEZ PACHECO
COD. 505818**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ D.C.
2019**

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS
EMPLEADAS EN LA CIMENTACIÓN DE EDIFICACIONES EN ALTURA: THE
BAHIA GRAND PANAMA (PANAMÁ) Y LA TORRE BD BACATÁ (COLOMBIA)**

**CATERINE ALEXANDRA RODRIGUEZ PACHECO
COD. 505818**

Trabajo de grado (Monografía)

ING. PhD. EDGAR RICARDO MONROY VARGAS

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ D.C.
2019**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación

ING. PhD. EDGAR RICARDO MONROY VARGAS
Director de Proyecto

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, Mayo de 2019

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es el resultado de numerosos esfuerzos y momentos arduos para su conclusión, y debido a esto agradezco primordialmente a Dios por regalarme la paciencia que se requirió, la sabiduría y los resultados que se obtuvieron. En segundo, le agradezco a mis padres y hermanas, quienes fueron un gran apoyo antes, durante y después de este trabajo, ayudándome con sus buenos comentarios, aportes y ánimo cuando más lo necesitaba. En especial a mis hermanas ya que fueron las pioneras en costearme la visita técnica a Panamá, dándome no solo una forma de trabajo de grado, si no la oportunidad de conocer y salir del país. También agradezco al ingeniero Abraham Ruiz, por su acompañamiento durante la visita y por aceptar ser mi asesor del trabajo en primera instancia. Por ultimo a mi asesor de trabajo de grado, el ingeniero Edgar Ricardo Monroy, el cual me guio de una forma correcta, paciente y muy completa durante la realización de este trabajo.

CONTENIDO

1. GENERALIDADES	13
1.1. ANTECEDENTES	13
1.2. ESTADO DEL ARTE	17
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.4. OBJETIVOS	21
1.4.1. Objetivo general	21
1.4.2. Objetivos específicos	21
1.5. JUSTIFICACIÓN	21
1.6. DELIMITACIÓN	22
1.6.1. Espacio	22
1.6.2. Tiempo	22
1.6.3. Contenido	22
1.6.4. Alcance	22
1.7. MARCO DE REFERENCIA	23
1.7.1. MARCO TEÓRICO	23
1.7.1.1 Cimentación	23
1.7.1.2 Clasificación	23
1.7.1.3. Cimentaciones profundas	24
1.7.1.3.1. Conceptos fundamentales y clasificaciones	24
1.7.1.4. Panamá	27
1.7.1.5. Zona canal de panamá	27
1.7.2. MARCO CONCEPTUAL	28
1.7.2.1. Los suelos de Panamá	28
1.7.2.2. Los suelos de Colombia	29
1.7.2.4. Datos sobre el Bahía Grand Panama	30
1.7.2.5. Criterios de elección del tipo de cimentación	30
1.8. METODOLOGÍA	31
1.8.1. TIPO DE ESTUDIO	31
1.8.2. INFORME RESUMEN DE LA VISITA TÉCNICA A PANAMÁ	31
1.8.2. FUENTES DE INFORMACIÓN	33
1.9. DISEÑO METODOLÓGICO	34
2. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS EN LAS ZONAS DE ESTUDIO	35

2.1. Introducción	35
2.2. Descripción conceptual del clima.....	35
2.2.1. Temperatura	36
2.2.2. Presión atmosférica	37
2.2.3. Vientos.....	37
2.2.4. Humedad atmosférica.....	38
2.2.5. Humedad del suelo	39
2.2.6. Precipitación	39
2.2.7. Salinidad	40
2.3. Descripción de la zona de estudio (THE BAHIA GRAND PANAMA)	41
2.3.1. Ubicación y posición geográfica.....	41
2.3.2. Descripción general	42
2.3.3. El clima	43
2.3.3.1. Temperatura	44
2.3.3.2. Presión atmosférica	45
2.3.3.3. Vientos.....	45
2.3.3.4. Humedad atmosférica.....	46
2.3.3.5. Humedad del suelo	47
2.3.3.6. Precipitación	48
2.3.3.7. Salinidad	49
2.4. Descripción de la zona de estudio (BD BACATÁ).....	50
2.4.1. Ubicación y posición geográfica.....	50
2.4.2. Descripción general	51
2.4.3. El clima	52
2.4.3.1. Temperatura	52
2.4.3.2. Presión atmosférica	53
2.4.3.3. Vientos.....	54
2.4.3.4. Humedad atmosférica.....	55
2.4.3.5. Humedad del suelo	56
2.4.3.6. Precipitación	56
2.4.3.7. Salinidad del lugar	58
3. CLASIFICACIÓN DEL SUELO EN LAS ÁREAS DE ESTUDIO.....	59
3.1. Introducción	59

3.2. Clasificación de los suelos	59
3.3. Características principales de los suelos	62
3.3.1. Variaciones estratigráficas	62
3.3.2. Nivel Freático	63
3.3.3. Resistencia a la compresión simple	63
3.4. Características del suelo en la zona de estudio (THE BAHIA GRAND PANAMA)	64
3.4.2. Aspectos sísmicos	64
3.4.3. Variaciones estratigráficas	64
3.4.4. Nivel de agua freática	66
3.4.5. Profundidad del estrato rocoso	67
3.5. Características del suelo en la zona de estudio (BD BACATÁ)	67
3.5.1. Aspectos sísmicos	67
3.5.2. Variaciones estratigráficas	67
3.5.2.1. Nivel de agua freático	68
3.5.2.2. Profundidad del estrato rocoso	68
4. METODOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS UTILIZADAS EN CIMENTACIONES ...	69
4.1. Introducción	69
4.2. Aspectos generales para la selección de una cimentación	69
4.4. CIMENTACIÓN DEL PROYECTO THE BAHÍA GRAND PANAMA	70
4.4.1. Clase de cimentación construida	70
4.4.1.1. Descripción	72
4.4.2. Generalidades constructivas	73
4.4.2.1. Cargas	73
4.4.2.2. Área ocupada	73
4.4.2.3. Duración de la obra	74
4.5.3. Maquinaria empleada en la construcción de la cimentación	74
4.4.4. Dimensiones	75
4.4.5. Cantidad	75
4.4.6. Materiales y cantidades	75
4.4.7. Normatividad	75
4.5. CIMENTACIÓN DEL PROYECTO BD BACATÁ	76
4.5.1. Clase de cimentación construida	76

4.5.1.1. Descripción	77
4.5.2. Generalidades constructivas	78
4.5.2.1. Cargas	79
4.5.2.2. Área ocupada.....	80
4.5.2.2. Duración de la obra.....	80
4.5.3. Maquinaria empleada en la construcción	80
4.5.4. Dimensiones	81
4.5.5. Cantidad.....	81
4.4.6. Materiales y cantidades	82
4.4.7. Normatividad.....	82
5. MATRIZ COMPARATIVA.....	83
6. TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA.....	86
7. CONCLUSIONES	88
8. RECOMENDACIONES	89
9. BIBLIOGRAFÍA	90
10. ANEXOS	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fotografía del BD Bacatá (Bogotá) en construcción	18
Figura 2. Fotografía en las esclusas de COCOLI y Esclusas de MIRAFLORES ...	31
Figura 3. Conferencia realizada por diferentes ingenieros en la empresa ECOTEC	32
Figura 4. Fotografía durante el recorrido en las instalaciones de CEMOSA	32
Figura 5. Fotografía durante el recorrido en las instalaciones de CEMOSA	33
Figura 6. Relación de la temperatura con la latitud	36
Figura 8. Foto satelital de ubicación del hotel	41
Figura 9. Características del Bahía Grand Panama	42
Figura 10. Fotografía The Bahía Grand Panama	43
Figura 11. Fotografía The Bahía Grand Panama durante la visita técnica	43
Figura 12. Ubicación del BD Bacatá.	50
Figura 13. Fotografías del BD Bacatá	50
Figura 14. Render de la torre BD Bacatá.	51
Figura 15. Zonas susceptibles a degradación por salinización	58
Figura 16. Perfil estratigráfico identificando Punta pacífica.	64
Figura 17. Interacción suelos - estructura (Panamá)	65
Figura 18. Representación gráfica de la estratigrafía del suelo (zona de estudio en Bogotá)	68
Figura 19. Cimentación (Pódium + pilas)	70
Figura 20. Tecnología con celdas Osterberg	71
Figura 21. Celda Osterberg en pilote de Panamá	71
Figura 22. Cimentación + Curvas de Amarre de Núcleo a Mástil	72
Figura 23. Apoyo típico pilote - Roca	73
Figura 24. Perforadora de barreno helicoidal utilizada en el Bahía Grand Panama	74
Figura 25. Modelo BD Bacatá.	76
Figura 26. Elaboración de la armadura de pilote	77
Figura 27. Planta y sección transversal de la cimentación	78
Figura 28. Anillos de estabilización de empujes horizontales durante la excavación.	79
Figura 29. Construcción de los anillos de estabilización de empujes horizontales ..	79
Figura 30. Construcción de los sótanos	81

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfico 1. Resumen del clima en Panamá.....	44
Gráfico 2. Temperaturas promedio durante el año en Panamá	44
Gráfico 3. Velocidad promedio del viento (Panamá).....	46
Gráfico 4. Niveles de comodidad de la humedad (Panamá)	47
Gráfico 5. Precipitación de acuerdo a la temperatura en el año (Panamá).....	48
Gráfico 6. Resumen del clima en Bogotá.....	52
Gráfico 7. Temperatura máxima y mínima promedio (Bogotá)	53
Gráfico 8. Velocidad promedio del viento (Bogotá)	54
Gráfico 9. Niveles de comodidad de la humedad (Bogotá)	55
Gráfico 10. Probabilidad de precipitación (Bogotá).....	57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tensiones admisibles depende el tipo de roca en la cota de apoyo de la cimentación.....	59
Tabla 2. Tensiones admisibles depende el tipo de suelo granular.....	61
Tabla 3. Tensiones admisibles depende el tipo de suelo fino.....	61
Tabla 4. Clasificación de la agresividad química de suelos, rocas y aguas.....	62

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Comparativo constructivo entre el BD Bacatá y el Burj Khalifa	93
Anexo B. Análisis constructivo del BD Bacatá	93
Anexo C. Reglamento Estructural Panameño (REP 2014).....	93
Anexo D. Registro Fotográfico- Construcción Bahia Grand Panama.....	93
Anexo E. Construcción del BD Bacatá – Poster	93
Anexo F. Poster semana de la investigación - Konrad Lorenz	93
Anexo G. Certificado de asistencia al VIII encuentro de semilleros de investigación Konrad Lorenz	93

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se podrán evidenciar las características empleadas en la construcción de las cimentaciones de dos grandes proyectos. Uno de estos es el hotel The Bahia Grand Panama ubicado en la ciudad de Panamá y el otro se distingue con el nombre de BD Bacatá (Bogotá Downtown Bacatá) ubicado en la ciudad de Bogotá – Colombia. Esto con el objetivo de identificar las diferencias metodológicas en la construcción de cimientos para edificaciones de gran altura o rascacielos.

Panamá cuenta con unas condiciones de suelo diferentes y difíciles de manejar por lo tanto es de gran interés conocer qué tipo de materiales y técnicas se manejan para que este tipo de proyectos sean de gran estabilidad y durabilidad. Lo que conlleva a la identificación de las características del suelo también de Bogotá por el mismo motivo anteriormente mencionado, es decir, que esta ciudad de Colombia presenta un suelo saturado lo que lo hace un tema de interés hacia el reconocimiento de las metodologías manejadas en la ejecución de la cimentación en el edificio BD Bacatá, el cual es el proyecto de mayor altura de la ciudad.

Es de gran importancia reconocer el suelo de estas dos zonas ya que de las características que presente depende el diseño en general de la cimentación, la cual es considerada la parte más importante estructuralmente en un proyecto de construcción vertical por motivos de estabilidad, y seguridad humana.

En general el desarrollo del presente trabajo consta de las comparaciones e identificación de las características que se deben tener en cuenta para la construcción de cimentaciones en diferentes condiciones como lo son el clima, la salinidad del aire y del agua, el nivel freático y el tipo de suelo tanto de Panamá como de Bogotá.

1. GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

Propuesta de mejora aplicada a los procesos constructivos empleados para la construcción de rascacielos en la ciudad de Bogotá a partir del análisis y comparación de procesos empleados en la construcción del bd bacatá vs Burj Khalifa

El presente antecedente es un trabajo de grado de la Universidad Piloto de Colombia en donde realizan un comparativo de los procesos constructivos entre dos grandes estructuras, en BD Bacatá y el Burj Khalifa el cual es la edificación más alta en el mundo construida y registrada en la historia, ubicada en Dubái.

Según Bernal Cardona María “Los rascacielos son estructuras verticales que tienen una altura mayor a 152.5 mts y requieren de varios procesos en el área de la construcción. Este tipo de edificaciones pueden optimizar los distintos espacios contribuyendo a la creación de ciudades compactas más organizadas y de gran interés para sus alrededores. Es por esto que se investigarán algunos de los procesos constructivos de una edificación en especial (Burj Khalifa, Dubái, Emiratos Árabes) con el fin de una propuesta de mejora para edificaciones en la ciudad de Bogotá D.C. Los procesos constructivos investigados se tendrán en cuenta para la comparación de una edificación existente en Bogotá llamada (BD Bacatá) donde el objetivo principal fue encontrar similitudes que tendrán los edificios y plantear mejores propuestas a futuro en la ciudad basados en el edificio existente con récord en la ciudad de Dubái. Esta investigación ayudara a futuros proyectos de la ciudad de Bogotá obteniendo mayor innovación como lo hacen en este momento en la ciudad de Dubái.”¹

Ya que el anterior resumen es de una investigación idéntica a la del presente trabajo se puede observar más completamente en el anexo A (ver anexo. A)

¹ BERNAL. María. Propuesta de mejora aplicada a los procesos constructivos empleados para la construcción de rascacielos en la ciudad de Bogotá a partir del análisis y comparación de procesos empleados en la construcción del BD Bacatá vs Burj Khalifa. Trabajo de Grado. Bogotá D.C.: Universidad Piloto de Colombia. 2018. p. 1.

Cimentaciones actuales de los rascacielos de Chicago

Según el ingeniero Álvaro López Ruiz en el artículo “se presentan las características principales del terreno y de la roca de apoyo y se describe someramente la forma de ejecución actual de las cimentaciones profundas de Chicago. Esta ciudad tendrá (en breve varios de los rascacielos más altos del mundo apoyados en cimentaciones profundas sobre roca y, posiblemente, también el edificio más alto apoyado sobre suelo. La construcción de pilotes de gran diámetro apoyados sobre roca y hormigonados en seco, según prescribe el código de la ciudad, presenta el punto débil de que en ocasiones se precisa introducir mucho en la roca el tubo de revestimiento permanente para conseguir la estanquidad requerida o bombear cantidades importantes de agua del fondo de las excavaciones. Esto último puede provocar arrastres de terreno de las cimentaciones adyacentes apoyadas sobre suelo a una cota más alta, así como el abatimiento del nivel freático, con el riesgo consiguiente de producir asentamientos apreciables y aun socavones. Para resolver este problema hemos realizado por primera vez en Chicago el pre sellado, mediante inyecciones químicas, de la roca de apoyo de los pilotes periféricos de una cimentación profunda, por medio de un taladro practicado en el centro de cada pilote, que ha servido al mismo tiempo para reconocer la naturaleza del subsuelo, antes de proceder a la perforación de cada pilote. La operación se ha llevado a cabo en los pilotes de gran diámetro de la cimentación del rascacielos Northern Trust Bank, actualmente en construcción, con resultados muy satisfactorios. Se describe el método de pre sellado de la roca utilizado y los resultados obtenidos”²

Comparación entre el sistema estructural de Las Torres Atrio (Bogotá) y Burj Khalifa (Dubái)

La presente investigación también es un comparativo que a pesar de no ser estrictamente de la cimentación de las estructuras está inmersa en el análisis estructural que presenta el documento. “La presente investigación se enfocará en comparar los sistemas estructurales entre el Burj Khalifa en Dubái y las Torres Atrio en Bogotá, ya que es gran importancia debido a que todas las construcciones que se realizaron o se están realizando en Dubái son de gran escala y se convierten en referentes a nivel mundial por romper esos límites en cuanto a los diseños como lo es el caso del imponente Burj Khalifa, que actualmente cuenta con 828 metros de altura, siendo es la estructura más alta de la que se tiene registro en la historia generando unos avances importantes hacia la industria de la ingeniería que siempre quiere proyectos ambiciosos y beneficiosos hacia la sociedad en general; mientras

² LOPEZ RUIZ, Álvaro. Cimentaciones actuales de los rascacielos de Chicago. En: Informes de la construcción. Mayo, 1972. Vol. 25, no. 240, p. 76-84.

que Colombia al ser un país en vía de desarrollo ha empezado a generar transformaciones en las ciudades principales con convenios público-privados mediante inversionistas nacionales y extranjeros que le están apostando al cambio urbano de grandes ciudades como Bogotá, como la construcción de las “torres Atrio que se encuentra localizado entre la Avenida Caracas, entre las calles 26 y 28 que reactivará estratégicamente el Centro Internacional de Bogotá” (ARPRO, 2011) mediante dos torres de uso mixto, con una plataforma de espacio público y áreas comunes que aportan gran valor hacia el cumplimiento de la renovación urbana y a las 72.000 personas que circulan por esta zona diariamente. La comparación entre los dos sistemas estructurales se realizará para determinar las similitudes y diferencias que presentan, teniendo en cuenta todos los factores que afecten a la estructura mediante una “investigación exploratoria” que nos permite el primer acercamiento hacia dicha comparación, dando un conocimientos superficial del tema que se lleva a cabo para continuar con una “investigación descriptiva que nos permite describir la realidad de todos los factores y situaciones que se deban analizar para llegar a la “investigación explicativa” que nos permite describir las problemáticas para establecer las conclusiones y esclarecer la propuesta inicial.”³

Caracterización geológica y geotécnica para cimientos de aerogeneradores en alta mar: estudio de caso del parque eólico Sheringham Shoal

La presente investigación se toma como antecedente ya que es un caso de estudio donde caracterizan las condiciones del suelo para reconocer el tipo de cimentación que se realizara pero en este caso es para un aerogenerador en la cercanía del mar.

Según Reidar Gudmund caracteriza las condiciones del suelo en el parque eólico Sheringham Shoal en el Mar del Norte, en el contexto del diseño de cimientos para turbinas eólicas marinas. El propósito es proporcionar un estudio de caso de referencia realista para la investigación y la práctica en el campo emergente de la energía eólica marina. Los datos del suelo se obtuvieron entre 2005 y 2008 en un programa de investigación que incluía mediciones de campo y experimentos de laboratorio.

La caracterización se centra en las propiedades del suelo que son relevantes para evaluar el rendimiento de los cimientos de las turbinas eólicas marinas. El perfil del suelo en el sitio de Sheringham Shoal consta de cuatro unidades principales: dos estratos de arcilla intercalados con una capa de arena y subyacentes por un lecho de tiza. El estado altamente consolidado de las arcillas y el estado densamente compactado de la arena dictan el comportamiento de estos suelos.⁴

³ CHIQUIZA, Laura. Comparación entre el sistema estructural de Las Torres Atrio (Bogotá) y Burj Khalifa (Dubái). Trabajo de investigación. Bogotá D.C.: Universidad Piloto de Colombia. 2017. 3 p.

⁴ JUANG, Hsein. MOON, Vicky. WASOWSKY, Janusz. Geological and geotechnical characterisation for offshore wind turbine foundations: A case study of the Sheringham Shoal wind farm. En: Engineering Geology. Julio, 2014. Vol. 177, p. 40-53.

Estas cuatro unidades principales, aunque difieren considerablemente en la composición del suelo, comparten varias características comunes que incluyen una alta resistencia al cizallamiento y una alta rigidez, pero sus rigideces al cizallamiento reducen significativamente tanto a una alta resistencia al cizallamiento estático movilizado como a una alta resistencia movilizada bajo carga cíclica. La rigidez del suelo es un importante parámetro de entrada para el diseño de cimientos de aerogeneradores en alta mar y, por lo tanto, la degradación de la rigidez es un tema importante en este parque eólico. Una serie de propiedades del suelo en el sitio muestran una variabilidad considerable que requiere un diseño de cimentación específico adaptado a cada ubicación para que sea seguro y rentable.⁵

Cimentaciones de pilotes aburridos en condiciones offshore

Los cimientos de pilotes perforados, también conocidos como ejes perforados o muelles perforados son cada vez más populares donde se requiere una gran capacidad de carga axial y lateral. La aplicación de cimientos de pilotes perforados en condiciones marinas (offshore) plantea desafíos únicos que los ingenieros y contratistas deben tener en cuenta con respecto a su diseño e instalación.

El entorno marino se asocia típicamente con la necesidad de elementos de cimentación de longitud relativamente larga que deben extenderse a través de una profundidad de agua significativa y suelos pobres y de baja resistencia hasta un estrato de rodamiento competente. Estas condiciones pueden afectar el diseño de pilotes perforados al ofrecer una resistencia limitada al eje y requerir una inserción profunda para poder desarrollar la fijación del pilote y la resistencia a cargas laterales. Las investigaciones del sitio cuidadosamente planificadas son esenciales para obtener la información necesaria de subsuelo necesaria para las consideraciones de diseño e instalación.⁶

El documento proporciona una serie de consideraciones especiales en el diseño de pilotes perforados específicamente en entornos marinos, es decir, los parámetros de diseño para el desarrollo de la carga axial y lateral y la consideración para el uso de la carcasa temporal y permanente, así como consideraciones especiales para su instalación, es decir, equipos de perforación y métodos de instalación, diseños y colocación de mezclas de concreto, diseño de Jaulas de armadura para construcción y control de calidad y ensayos.⁷

⁵ JUANG, Hsein. MOON, Vicky. WASOWSKY, Janusz. Geological and geotechnical characterisation for offshore wind turbine foundations: A case study of the Sheringham Shoal wind farm. En: Engineering Geology. Julio, 2014. Vol. 177, p. 40-53.

⁶ ELLMAN, Roderic. Bored pile foundations in offshore conditions. Artículo de conferencia. En: Prensa CRC. 2009. p. 47-58

⁷ ELLMAN, Roderic. Bored pile foundations in offshore conditions. Artículo de conferencia. En: Prensa CRC. 2009. p. 47-58

1.2. ESTADO DEL ARTE

Panamá es la ciudad con mayor cantidad de rascacielos en América Latina

Según el periódico La república “de los 10 edificios más altos en esta zona del mundo, la capital panameña tiene siete, destacando The Bahía Grand Panamá como el segundo más alto de América Latina y el primero del país con 284 metros de altura y 70 pisos. Hasta marzo del 2018, esta construcción se conoció como Trump Ocean Club International Hotel and Tower.

El dominio panameño se extiende incluso entre los 20 primeros, pues hasta este rango incluye 12 construcciones.

Gerardo Rosales, especialista en estructuras de la Universidad Nacional, destacó que ese boom de grandes rascacielos en la ciudad, que empezaron su auge a principios del siglo XXI, “tiene explicación en su expansión como centro financiero y de negocios, turismo y a que grandes capitales del exterior vieron en el sector inmobiliario un gran potencial de inversión, además que a través de los años se ha consolidado un entramado de conexiones aéreas y marítimas que hacen de Panamá una pequeña Manhattan hoy en día”⁸.

Así mismo, Rosales precisó que todas estas modernas estructuras son construidas en la actualidad bajo los más altos estándares de sismorresistencia y materiales como hormigón armado y acero, que no se usan de manera frecuente en proyectos residenciales comunes, pero que sí son utilizados en obras de características industriales.⁹

Entre los 10 rascacielos más altos destaca también México con dos construcciones en Monterrey y su capital. En la primera se ubica la Torre Koi & Sky Residences con 279,5 metros que es, a su vez, el más recientemente inaugurado pues abrió sus puertas en 2017, mientras que en Ciudad de México está la Torre Reforma con 246 metros.

Por su parte, el rascacielos más alto de Colombia, la torre sur del BD Bacatá en Bogotá, se ubica en el puesto 23 de la región con 216 metros de altura. Sin embargo, se prevé en el año 2019, el edificio sur de **Torres Atrio** con 268 metros se ubique como el referente local.¹⁰

⁸ CARDONA, Andrés Octavio. Panamá es la ciudad con mayor cantidad de rascacielos construidos en América Latina. La República [En línea], 28 de octubre de 2018.

⁹ Ibíd.

¹⁰ Ibíd.

BD BACATÁ

En abril de 2011 la demolición del antiguo hotel Bacatá, dio inicio a uno de los proyectos más ambiciosos en Bogotá, la construcción del primer rascacielos del país, el BD Bacatá. Y desde ese momento la obra no ha parado. La fase de cimentación, una de las más importantes de la construcción, pero la menos visible para el público en general se ha estado gestando.

Figura 1. Fotografía del BD Bacatá (Bogotá) en construcción



Fuente: Skyscrapercity

Fase 1: Demolición (abril 2011)

Duración = 4 meses

Maquina utilizada Bobcats

Fase 2: Desembarco de maquinaria (septiembre de 2011)

Se ha utilizado maquinaria para excavaciones petroleras, puentes y grandes obras civiles por primera vez en la ciudad

Fase 3: Fundición de pantallas (8 de noviembre de 2011)

Se construyeron 207 m lineales de pantallas, modificando gradualmente el movimiento de las aguas subterráneas.

Fecha de construcción de la última pantalla: septiembre de 2012

Fase 4: Pilotaje (septiembre de 2013)

Cantidad: 151 pilotes, de los cuales solo 58 son constructivos

Sistema de construcción: Por punta, los pilotes transmiten todo el peso a la arcillolita

Profundidad excavada para llegar a la arcillolita: 60 metros

Fase 5: Estructura (Segundo semestre de 2014)

Se van descubriendo los pilotes y cociendo los anillos de los sótanos

Los pilotes descubiertos se unen a los anillos por medio de dados de concreto, el BD Bacatá tiene un dado de 160 m³, uno de los más grandes que se haya construido en el país. (Ver anexo E)

RESEÑA ESTRUCTURAL DEL BD BACATÁ

La cimentación está conformada por una losa de placas macizas con vigas descolgadas apoyada sobre pilotes profundos, en la zona exterior del lote se construyeron pantallas bentoníticas para posibilitar el sistema de contención y la construcción de unas vigas andén apoyadas mediante un sistema de pilotes temporales.

La estructura tiene aproximadamente 95 metros de altura, en su desarrollo tienen varios retrocesos de fachadas generando zonas que deben ser tratados en *volado* o *cantiléver* con dimensiones importantes desde punto de vista estructural. Para el buen funcionamiento de estas zonas se realizaron acoplamientos en sus extremos y así garantizar una deformación uniforme en ellos. En el diseño estructural se ha tenido en cuenta como sistema principal de resistencia sísmica, pantallas centrales en la zona del punto fijo y unas pantallas perimetrales perpendiculares a las fachadas principales para su interferencia y afectación a las zonas internas.

El mayor reto constructivo fue la excavación en este tipo de suelos y construcción de la cimentación a 12 metros de profundidad teniendo en cuenta las vecindades, particularmente las avenidas 19 y NQS con la cuales existe lindero en las zonas de los sótanos; otro reto importante fue evitar la afectación en el edificio que se encuentra construido en el costado norte con cimentación prácticamente superficial. Igualmente el desarrollo de estas obras simultáneamente con la construcción del viaducto de intercomunicación vial que la ciudad tenía en construcción en el momento de estos trabajos.¹¹

¹¹ P&D (Proyectos y Diseños S.A.S). Torre Bacatá Bogotá. P&D [En línea], 25 de octubre de 2018.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La cimentación es la parte más importante en la construcción de obras verticales, ya que de estas depende el éxito de la estructura gracias a las bases que sustentarán el edificio y así obtener estabilidad en él. Por este motivo se decidió realizar una comparación entre dos grandes estructuras las cuales están ubicadas en zonas con diferentes condiciones ambientales, geológicas, ecológicas, hídricas y climáticas. Lo que conlleva a realizar la pregunta ¿Qué diferencias y similitudes hay en las cimentaciones de dos estructuras de gran altura sometidas a diferentes condiciones ambientales?

Existen diferentes tipos de cimentaciones que se adecuan a las condiciones de los suelos, y ya que estos tienen propiedades específicas en cada lugar es puntual identificar con que suelo se trabajó al momento de construir tanto el The Bahía Grand Panama como el BD Bacatá. Por tal motivo es de sumo interés identificar porque se realizaron ciertas cimentaciones y no otras, sabiendo que Panamá cuenta con unas características de un suelo inestable para construir (básicamente es un territorio formado por arena lodo y barro), además de ser curiosa la infraestructura que allí se maneja por los mismos motivos, como lo son todos los rascacielos que se encuentran allí además de tener en cuenta que tradicionalmente los estacionamientos de vehículos son subterráneos, pero en este caso son parte del edificio, es decir, los siete primeros pisos de cada edificación son los parqueaderos u estacionamientos. Lo que genera una incertidumbre o duda del porqué se realizará de esta forma o cómo serán las cimentaciones de estas obras, y se deduce que es causa de las condiciones que presenta el suelo. Por este motivo se realizará la comparación de las metodologías empleadas tanto en Bogotá como en Panamá para poder obtener con éxito proyectos de esta magnitud en suelos blandos e inestables.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Realizar un estudio comparativo identificando las diferencias y similitudes entre las cimentaciones utilizadas y los diferentes factores que afectan los proyectos The Bahia Grand Panama ubicado en Panamá y el BD Bacatá ubicado en Bogotá - Colombia

1.4.2. Objetivos específicos

- Reconocer las características del entorno de las zonas de estudio, así como las condiciones atmosféricas tales como: la temperatura, clima, precipitación, humedad, presión atmosférica y vientos, salinidad del aire y del agua, entre otras.
- Describir la tipología de suelo presente en cada zona de estudio.
- Identificar qué metodologías constructivas se emplearon en la elaboración de los cimientos de cada una de las estructuras en las zonas de estudio.
- Definir las correlaciones e incidencias para cada zona de estudio de las condiciones atmosféricas, tipología de suelo y metodología constructiva a través del diseño de una matriz de evaluación

1.5. JUSTIFICACIÓN

La visita técnica internacional a Panamá permitió identificar la importancia que hay en la parte estructural de los edificios ya que se pudieron observar los diferentes proyectos que convierten a Panamá en un país con éxito tecnológico. Se lograron identificar diferentes obras de gran altura que despiertan la curiosidad de reconocer sus características y metodologías constructivas. Por este motivo se identificó el edificio más alto y popular del lugar el cual fue el hotel The Bahia Gran Panama, el cual fue uno de los proyectos más grandes e importantes en edificaciones, por su dificultad de construcción debido a que está ubicado a las orillas del océano en una de las bahías de Panamá. Del mismo modo se identificó uno de los edificios más altos de la ciudad de Bogotá en Colombia con el objetivo de realizar una comparación ya que las características del suelo donde fue construido también son peculiares y de interés investigativo. Es por esto que las cimentaciones deben ser especiales y muy bien reforzadas y es de carácter informativo identificar las diferencias y similitudes en cuanto a construcción de las fundaciones ya que los dos proyectos a estudiar son rascacielos pero ubicados en sitios de características y condiciones totalmente diferentes.

1.6. DELIMITACIÓN

1.6.1. Espacio

El trabajo está referido a dos lugares en específico, Ciudad de Panamá – Panamá y Bogotá – Colombia, puntos en donde hay densidad de edificaciones en altura y se logra identificar las dos estructuras más altas hasta el momento en determinadas ciudades, que son el Bahía Grand Panama y el BD Bacatá respectivamente.

1.6.2. Tiempo

El desarrollo del trabajo inició desde la visita técnica internacional a Panamá, el cual se realizó en un periodo comprendido entre el 13 y el 20 de agosto del año 2018 y en el transcurso de tal semestre, mediante la construcción de la propuesta del trabajo de grado (Anteproyecto) y posteriormente durante los cuatro primeros meses del 2019 se realizó el desarrollo del presente trabajo.

1.6.3. Contenido

El presente trabajo es netamente investigativo e informativo tal que se presentan las características y las metodologías constructivas a las que están y fueron sometidas cada una de las dos estructuras por medio de una monografía, y finalmente una matriz comparativa en donde se muestra más puntualmente dicha investigación.

1.6.4. Alcance

- El presente estudio explorará las diferencias y similitudes que hay entre dos edificios de gran altura o rascacielos, el The Bahia Grand Panama y el BD Bacatá ubicados en lugares con condiciones climáticas y ambientales diferentes
- La investigación abarcará información proporcionada por algunas de las empresas mencionadas en el documento como lo son P&D (Proyectos y Diseños S.A.S), Arias Serna Saravia, ABAA (Alonso Balaguer Arquitectes Associats) y el grupo Luis García Dutari, que fueron las firmas encargadas de los diseños arquitectónicos y estructurales del BD Bacatá y el Bahía Gran Panama, considerándose como información de fuentes primarias y de gran relevancia para el comparativo a realizar.
- Se identificarán las metodologías constructivas empleadas en las cimentaciones de ambas estructuras teniendo en cuentas las condiciones en que se encontraban al momento de su construcción, como la humedad del suelo, la salinidad del ambiente, el nivel freático y el clima.

1.7. MARCO DE REFERENCIA

1.7.1. MARCO TEÓRICO

1.7.1.1 Cimentación

Yepes Víctor presenta la siguiente definición: La cimentación es aquella parte de la estructura, generalmente enterrada, que transmite al terreno su propio peso y las cargas recibidas, de modo que la estructura que soporta sea estable, la presión transmitida sea menor a la admisible y los asentos se encuentren limitados (Figura 1). La cimentación debe resistir las cargas y sujetar la estructura frente a acciones horizontales como el viento y el sismo, conservando su integridad. La interacción entre el suelo y la estructura depende de la naturaleza del propio suelo, de la forma y del tamaño de la cimentación y de la flexibilidad de la estructura.¹²

1.7.1.2 Clasificación

La cimentación puede clasificarse dependiendo de la profundidad a la que se realiza (ilustración 1).

Si se llama D a la profundidad a la que se encuentra el contacto entre la cimentación y el terreno y B la dimensión menor de la cimentación, éstas se pueden clasificar en:

Cimentación superficial o directa:

$$\frac{D}{B} < 4m$$

$$D < 3m$$

Cimentación semiprofunda o pozos:

$$4 \leq \frac{D}{B} \leq 8m$$

$$3m \leq D \leq 6m$$

Cimentación profunda o pilotaje:

$$\frac{D}{B} > 8m$$

$$D > 6m$$

¹² YEPES, Piqueras, Víctor. Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención. Valencia, 2016.

1.7.1.3. Cimentaciones profundas

Cuando se requiera una profundidad superior a 6-8 m (donde no llega una retroexcavadora), se debe realizar una cimentación profunda que precisa procedimientos de construcción especiales.

Cimentación por pozos o caissons

El pozo de cimentación es un tipo de cimentación semiprofunda, entre 3 y 6 m, utilizada en suelos blandos, donde son inadecuadas las cimentaciones superficiales al precisar de entibaciones y apuntalamientos importantes. Se emplea en obras pequeñas donde no es accesible la maquinaria de pilotes por el tamaño de la obra o por las calles estrechas. La cimentación por pozos presenta una gran similitud con los pilotes, aunque son de mayor sección (del orden de 1 m² como mínimo). Se utilizan cuando no es posible cimentar con zapatas, pues tendrían un canto demasiado elevado, ni tampoco usar pilotes, por motivos económicos.

Cimentación por cajones

Un cajón es una estructura que, hundida a través del terreno o del agua, permite cimentar a la profundidad requerida, formando posteriormente parte de la estructura definitiva. Estos cajones pueden ser abiertos por arriba y sin fondo (cajones indios), de fondo abierto (cajones neumáticos) o de fondo cerrado (cajones flotantes).

Cimentación por pilotes

Según Yepes Víctor, el pilotaje se utiliza cuando el terreno firme se encuentra a gran profundidad (más de 6 m o bien más de 8 diámetros del pilote). Es una solución constructiva que se remonta a los palafitos, siendo práctica habitual en los puertos o en ciudades como Murcia, donde se han usado los prefabricados de madera como cimentación. A continuación se describen los conceptos fundamentales sobre los pilotes, cómo se pueden clasificar y construir.¹³

1.7.1.3.1. Conceptos fundamentales y clasificaciones

Los pilotes son piezas largas, a modo de pilares enclavados en el terreno, que alcanzan una profundidad suficiente para transmitir las cargas de la estructura. Se denomina fuste a la parte del pilote en contacto con el suelo, mientras que altura libre es la longitud de la parte que emerge del suelo. El encepado transmite los esfuerzos de la estructura a los pilotes. Los pilotes pueden clasificarse de muchas formas, algunas son las siguientes.

¹³ YEPES, Piqueras, Víctor. Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención. Valencia, 2016.

La clasificación de los pilotes según su forma de trabajo son definidos por Yepes Víctor, como:

Pilotes por punta: alcanzan el estrato resistente, transmitiéndose las cargas por punta, comprimiéndose el pilote. El terreno circundante dificulta el pandeo. La deformación del pilote es muy pequeña por su rigidez, de forma que el movimiento relativo con el terreno no es significativa. También se llaman pilotes columna. Pilotes por fuste: no alcanzan un estrato resistente, transmitiendo la carga al terreno circundante por rozamiento a través del fuste. Se llaman también pilotes flotantes o de fricción.¹⁴

Pilotes por fuste: no alcanzan un estrato resistente, transmitiendo la carga al terreno circundante por rozamiento a través del fuste. Se llaman también pilotes flotantes o de fricción.¹⁵

Sin embargo, los pilotes trabajan de forma combinada, tanto en punta como en fuste. Además, pueden estar sometidos a tracción cuando existe sub presión que tiende a levantar la estructura por encontrarse total o parcialmente por debajo del nivel freático, es decir “flota”. En rellenos en proceso de consolidación, el pilote se ve arrastrado por el terreno que asienta, denominándose este fenómeno “rozamiento negativo”. Si la estructura recibe esfuerzos horizontales, algunos pilotes pueden trabajar a tracción y otros a compresión. También trabajan a flexión si están empotrados y resisten el empuje de las tierras al excavar.

Por tanto, los pilotes resultan muy apropiados en casos como los siguientes:

- a) Cuando se disponga de un terreno competente a poca profundidad (5-6 m)
- b) Las cargas de la estructura sean importantes y concentradas
- c) La estructura sea sensible a movimientos absolutos o diferenciales
- d) El nivel freático se encuentre muy alto y sea difícil ejecutar losas
- e) Para limitar el efecto de las cargas en estructuras próximas
- f) Como elemento de contención formando pantallas de pilotes
- g) Para contener movimientos de ladera
- h) Para resistir cargas horizontales (normalmente combinado con otros y con inclinación)
- i) Para compensar tracciones (sub presiones)

¹⁴ YEPES, Piqueras, Víctor. Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención. Valencia, 2016.

¹⁵ Ibíd., p. 39

Según el Código Técnico de Edificación los pilotes se clasifican en los siguientes tipos:

Pilote aislado: es un pilote alejado suficientemente de otros para no interactuar con aquellos. No se permiten pilotes aislados para diámetros menores a 45 cm. Entre 45 y 100 cm de diámetro se pueden utilizar si se arriostran lateralmente.

Grupo de pilotes: conjunto de pilotes suficientemente próximos para interactuar entre sí o unidos mediante elementos estructurales.

Zonas pilotadas: son pilotes de escasa capacidad portante individual, regularmente espaciados o situados en puntos estratégicos, que sirven para reducir asentamientos o mejorar la seguridad frente a hundimiento de las cimentaciones.

Micropilotes: son aquellos compuestos por una armadura metálica formada por tubos, barras o perfiles que se introducen en un taladro de pequeño diámetro, y que pueden estar inyectados con una lechada de mortero.

El Código Técnico de Edificación también distingue los pilotes por el material:

Hormigón “in situ”: se pueden ejecutar mediante excavación previa del terreno o por desplazamiento de éste.

Hormigón prefabricado: armado (hormigones de alta resistencia) u hormigón pretensado o postensado.

Acero: secciones tubulares o perfiles en doble U o en H. Se hincan con protecciones en la punta (azúches).

Madera: para pilotar zonas blandas ampliar y como apoyo de estructuras con losa o terraplenes.

Mixtos: acero tubular rodeados y rellenos de mortero.

Por la forma de ejecución, este Código Técnico los clasifica en:

Pilotes prefabricados hincados: donde se desplaza el terreno, sin hacer excavaciones.

Pilotes hormigonados “in situ”: donde se excava el terreno antes de hormigonar.¹⁶

Sin embargo, existen casos mixtos, con perforación e hincado, como pilotes de desplazamiento hormigonados “in situ” u otros. La tipología condiciona la alteración del terreno en el entorno del pilote y por tanto, la resistencia y deformabilidad. En lo

¹⁶ CÓDIGO TÉCNICO DE EDIFICACIÓN. Seguridad estructural cimentaciones, 2007. Pág 46

que sigue, dividiremos los pilotes en pilotes de desplazamiento, pilotes de perforación, pilotes inyectados y micropilotes.

1.7.1.4. Panamá

La república de Panamá es un país, ubicado en América Central, su capital es la ciudad de Panamá. Este país es reconocido internacionalmente ya que en él se encuentra el canal de Panamá, estructura que facilita la comunicación entre las costas del océano atlántico y el pacífico, influyendo de manera significativa en la actividad comercial mundial.

Gracias a su clima tropical, Panamá representa un paraíso, para todo aquel que lo visita y que desea alejarse de los climas fríos. Debido a su ubicación geográfica, esta nación siempre ha despertado un interés especial por parte de las potencias extranjeras, que buscan ejercer control de esta región geográfica, para así poder dominar el comercio y el tránsito de buques de un lado a otro.

1.7.1.5. Zona canal de Panamá

Según el capítulo 8 del texto Características geomorfológicas de Panamá “el istmo de Panamá comenzó a consolidarse durante el período Cretácico Superior, donde prevalecieron las rocas basálticas que confirmaban un origen volcánico oceánico. Durante el Terciario Medio, los afloramientos andesíticos e intrusivos mostraron una formación más continental. En el Plioceno, al final del Terciario, el istmo se perfilaba para convertirse en el que conocemos hoy. Es un sector también atravesado por fallas activas. Es una de las partes más deprimidas de Panamá, donde el lago Gatún marca el sector más débil de esta parte del país. Los sedimentos marinos plegados (Quebrancha syncline) emergen en el sector de Culebra, lo que indica la tremenda presión que sufre Panamá debido al movimiento de las placas tectónicas, en particular el avance hacia el norte y la presión ejercida por la placa de Nazca”¹⁷

¹⁷ BORGEOING, Jean Pierre. Geomorphology of Central America: Geomorphological Characteristics of Panama. 1st Edition. Costa Rica.: Elsevier. Junio, 2015. p. 121-133.

1.7.2. MARCO CONCEPTUAL

1.7.2.1. Los suelos de Panamá

Según el atlas de suelo de América Latina y el Caribe, “Panamá está ubicada en el extremo sureste de América Central. Limita al norte con el mar Caribe, al sur con el océano Pacífico, al este con Colombia y al oeste con Costa Rica. Tiene un clima tropical, muy caluroso durante todo el año en las costas y tierras bajas, modificándose hacia el interior a medida que se gana altitud, con temperaturas frías por encima de 2.000 msnm. La mayor parte del territorio panameño está formado por tierras bajas (89%). El área restante se compone de tierras altas dominadas por el Volcán Barú y la Cordillera Central.”¹⁸

Los usos más importantes de la tierra son: forestal (44%), pastos (21%) y tierra arable (9%). Panamá se caracteriza por poseer una importante variedad de suelos. Los suelos dominantes son: Acrisols, Cambisols, Litosols, Nitosols y Ferralsols. Las tierras altas de la provincia de Chiriquí se caracterizan por poseer un clima templado húmedo de altura, con suelos profundos y fértiles, derivados de cenizas volcánicas. Son adecuados para el desarrollo de la agricultura y el cultivo de buenos pastos para la ganadería. Sin embargo, estos usos deben mantener un constante equilibrio con la conservación de los recursos naturales, ya que la zona forma parte del área de amortiguamiento de importantes espacios protegidos. Los suelos aluviales, aptos para la agricultura, se localizan en las tierras bajas y cercanas a los ríos.

Los suelos arcillosos o rojos son pobres para el cultivo pero se pueden destinar al uso ganadero (pastos). Este suelo se usa como material básico para la fabricación de bloques, ladrillos y tejas de arcilla, muy solicitadas para la construcción de viviendas y edificios. En la zona que incluye la montaña, la cordillera Central y la comarca Ngäbe Buglé los suelos no son adecuados para la agricultura, porque son suelos de vocación forestal o destinados a la protección de las reservas hídricas; no obstante, son los únicos de que disponen las comunidades indígenas para su subsistencia. Dentro de dicha zona, en el sector del Pacífico predomina el uso agropecuario de subsistencia, los bosques están altamente intervenidos y aún persisten unos pocos bosques secundarios maduros.

La erosión y degradación de suelos es notable y se requiere de una pronta atención a estos terrenos, los cuales sustentan una de las poblaciones más pobres del país.¹⁹

¹⁸ EUROCLIMA. Atlas de suelo de América Latina y el Caribe. 2014. p. 164.

¹⁹ *Ibíd.*, p. 164.

1.7.2.2. Los suelos de Colombia

Según el atlas de suelo de América Latina y el Caribe, “Colombia es un país ubicado en la zona nor-occidental de América del Sur. Limita al oriente con Venezuela y Brasil, al sur con Perú y Ecuador y al occidente con Panamá. El clima es tropical y varía desde el frío extremo en los nevados hasta las temperaturas más cálidas a nivel del mar. Existen dos estaciones secas y dos lluviosas. Geológicamente, el territorio colombiano forma parte del cinturón de fuego del Pacífico.

Los usos más importantes del suelo son: forestal (53%), pastos (30%) y cultivos (5%).

De acuerdo a las características del relieve y climáticas, pueden distinguirse seis regiones: Caribe, Insular, Pacífico, Orinoquía, Amazonia y Andina. Los suelos de la región andina pueden definirse como jóvenes, con buena fertilidad y ligeramente ácidos. Predominan los suelos derivados de materiales volcánicos.”²⁰

1.7.2.3. Suelo de Bogotá

Según Bernardo Caicedo, Cristhian Mendoza, Fernando López y Arcesio Lizcano “el depósito lacustre de la ciudad de Bogotá (Colombia) se encuentra en una meseta alta de la Cordillera de los Andes a 2550 m sobre el nivel del mar. Más del 60% del área de esta ciudad con 9 millones de habitantes está ubicada en depósitos de suelo blando. En algunos sitios de la meseta, la profundidad del depósito lacustre puede alcanzar los 586 m. Los depósitos poco profundos de suelo de 5 a 10 m de profundidad están demasiado consolidados, pero en capas más profundas, el suelo puede alcanzar valores extremos para algunas propiedades geotécnicas: índices de consistencia inferiores a 0,5, contenido de agua superior al 200%, límites de líquidos de hasta 400%, ratios de vacíos tan altos como 5, y alto porcentaje de diatomeas.

Los resultados de los depósitos lacustres de Bogotá mostraron un alto ángulo de fricción (cerca de 45 °) y un alto índice de plástico (cerca de 200). Estos resultados no son comunes en la mecánica clásica del suelo porque el aumento del índice plástico causa una disminución del ángulo de fricción. Una posible explicación es que el suelo tenía un alto contenido de diatomeas en su estructura, y estas diatomeas cambiaron su comportamiento. Otro resultado interesante fue que un aumento en las diatomeas (partículas mayores de 10 µm) aumenta la plasticidad de suelo sin aumentar partículas del tamaño de arcilla.”²¹

²⁰ EUROCLIMA. Atlas de suelo de América Latina y el Caribe. 2014, Pág. 158

²¹ CAICEDO, Bernardo. Behavior of diatomaceous soil in lacustrine deposits of Bogotá, Colombia. En: Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. Abril, 2018. Vol. 10, no. 2, p. 367 – 379.

1.7.2.4. Datos sobre el Bahía Grand Panama

La torre es el primer hotel que el estadounidense Donald Trump levantó en América Latina. Donald Trump lo inauguró en 2011.

El emblemático Trump Ocean Club Hotel, que abrió sus puertas de la mano del ahora presidente de Estados Unidos Donald Trump, opera bajo un nuevo nombre y nueva administración. El magnate hizo su aparición en sociedad con el Bahía Grand Panamá el cual es su nuevo nombre. La página web anuncia la disponibilidad de habitaciones, y en Instagram ya publicaron tres fotos: la del edificio en forma de vela, una piscina tipo horizonte y una hamburguesa que habla de la oferta gastronómica de sus restaurantes.²²

1.7.2.5. Criterios de elección del tipo de cimentación

Según Yepes Víctor, el tipo de cimentación se selecciona en función del terreno, de la estructura y de la interacción con los edificios próximos. El terreno influye por su capacidad portante, por su deformabilidad, por la existencia de nivel freático, por su excavabilidad o alterabilidad, entre otros. En el tipo de estructura son determinantes las cargas, las tolerancias a los asentos y la presencia de sótanos. Son muy susceptibles aquellos edificios cercanos antiguos con cimentación somera o cuando las cargas van a ser muy diferentes entre los edificios próximos.

La cimentación por zapatas constituye la solución tradicional por economía y facilidad de ejecución. Es una buena solución cuando la resistencia del terreno es de media a alta, sin estratos blandos interpuestos. Es la cimentación ideal si el terreno presenta una cohesión suficiente para mantener verticales las excavaciones, no existe afluencia de agua y el nivel de apoyo se encuentra a menos de 1,5 m, si bien se puede rellenar la diferencia con un hormigón pobre en el caso de mayores profundidades.²³

Se recurre a la cimentación por pilotaje cuando no existe firme a una profundidad alcanzable mediante zapatas o pozos, normalmente más de 5 m. Los pilotes reducen los asentos de la estructura, cuando la permeabilidad u otras condiciones del terreno impiden la ejecución de cimentaciones superficiales, existen cargas muy fuertes o concentradas o bien se pretende evitar la influencia sobre cimentaciones adyacentes.

²² Redacción de La Prensa. El Trump ahora es Bahía Grand Panamá. La Prensa/ Economía [En línea], 28 de octubre de 2018. Disponible en Internet: https://impresa.prensa.com/economia/Trump-ahora-Bahia-Grand-Panama_0_4981001904.html

²³ YEPES, Piqueras, Víctor. Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención. Valencia, 2016. p. 12.

1.8. METODOLOGÍA

1.8.1. TIPO DE ESTUDIO

El desarrollo del trabajo e investigación será de tipo comparativo y descriptivo, entendiendo que se realizará un estudio de las cimentaciones que presentan las dos estructuras logrando una descripción por medio de la información recolectada y un comparativo al integrarla, asegurando el estudio comparativo para cumplir con los objetivos expuestos y evidenciar transferencia tecnológica durante la investigación.

1.8.2. INFORME RESUMEN DE LA VISITA TÉCNICA A PANAMÁ

La temática del trabajo se presentó debido a las experiencias e información recolectada durante la visita técnica internacional. Iniciando con un resumen de lo más relevante y relacionado al tema del trabajo.

La visita se realizó entre el 13 y el 20 de agosto de 2018, llegando inicialmente al aeropuerto el TOCUMEN en ciudad de Panamá.

Desde este punto se comenzó el recorrido por diferentes lugares de importancia en toda la ciudad.

Se visitaron dos de las esclusas que conectan el canal de Panamá, las esclusas de COCOLI y las esclusas de MIRAFLORES.

Figura 2. Fotografía en las esclusas de COCOLI y Esclusas de MIRAFLORES



Fuente: Ing. Jaime Fernando Pérez



Fuente: Autoría

Se realizó una visita a las instalaciones de ECOTEK el cual es una empresa de ingeniería que ofrece su equipo multidisciplinario de profesionales, con amplia experiencia en diferentes sectores, como Energía, Petróleo y Gas, Petroquímicos, Procesos Industriales, Infraestructura y Medio Ambiente.

Figura 3. Conferencia realizada por diferentes ingenieros en la empresa ECOTEC



Fuente: Ing. Jaime Fernando Pérez

Por último se visitaron las instalaciones de CEMOSA (Centro de Estudios de Materiales y Control de obra, SA) el cual es una empresa especializada en servicios de ingeniería y control de calidad en el ámbito de la construcción, fomentando desde sus principios el conocimiento, la innovación y la tecnología, teniendo siempre como horizonte la calidad y la responsabilidad empresarial en toda su actividad.

Figura 4. Fotografía durante el recorrido en las instalaciones de CEMOSA



Fuente: Ing. Jaime Fernando Pérez

Figura 5. Fotografía durante el recorrido en las instalaciones de CEMOSA



Fuente: Autoría

En este recorrido el ingeniero que describía los diferentes procedimientos que allí se realizaban, fue una de las personas que mencionó la cuestión de los estacionamientos en las edificaciones en Panamá y que generó el interés por investigar más sobre el tema.

1.8.2. FUENTES DE INFORMACIÓN

- Recolección de información por medio de fuentes primarias y secundarias como lo son las entidades que diseñaron y/o construyeron las edificaciones por medio de reuniones y contacto electrónico con arquitectos e ingenieros responsables en cada empresa contactada:

Firmas encargadas del Bahía Grand Panama

Grupo Ing. Luis García Dutari – Diseño estructural
Oficina (Ciudad de Panamá): El Cangrejo - Edificio Vistanova

Arias Serna Saravia – Diseño arquitectónico
Oficina (Bogotá): Av. Calle 82 # 10 – 13

Firmas encargadas del BD Bacatá

P&D (Proyectos y Diseños S.A.S) – Diseño estructural del BD Bacatá
Oficina (Bogotá): Carrera 19A No. 84 - 14 Piso 7

ABAA (Alonso Balaguer Architectes Associats) – Diseño arquitectónico
Oficina (Bogotá): Carrera 16 a # 85 – 37

- Realizar contacto con cercanos en Panamá que puedan proporcionar información interna sobre el tema a tratar como lo es todo lo referente con la construcción de la cimentación del The Bahía Grand Panama.
- Visitar la constructora del BC Bacatá e indagar si es posible la transferencia de información sobre la estructura por parte de ellos.
- Recolección de información por medio de fuentes secundarias: Hacer una investigación minuciosa y detallada por medio de bases de datos y páginas académicas que complementen la información obtenida por medio de las fuentes previas, permitiendo reconocer los diferentes conceptos constructivos (materiales y tipos de fundación utilizadas en las dos estructuras) para lograr obtener información con la cual realizar la comparación y así llegar a una conclusión.
- Realización de los entregables como lo son la monografía y el artículo donde se evidencien todas la investigaciones e información reunida por parte de las empresas autoras de los dos edificios por medio de un cuadro comparativo con las diferencias y similitudes que se presentaron durante el proceso constructivo de las cimentaciones del The Bahia Grand Panama y el BD Bacatá.

1.9. DISEÑO METODOLÓGICO

El documento se desarrollará en cuatro principales capítulos, donde se evidenciará el proceso informativo que descompone los objetivos del trabajo con el fin de cumplirlos. Cada capítulo se descompondrá de la siguiente manera:

- I. Descripción general de los conceptos empleados en la descripción del clima y de las características generales de cada torre, donde también se presenta un recorrido por conceptos esenciales que abarcan la climatología tanto general como específicamente para las zonas de estudio que son Ciudad de Panamá y Bogotá D.C.
- II. Descripción de conceptos en la parte teórica del análisis de suelos, tanto general como específicamente en las zonas de estudio, identificando la tipología de suelo que presenta cada área donde se construyeron cada uno de los rascacielos.
- III. Descripción de las metodologías empleadas en cada una de las cimentaciones, teniendo en cuenta ciertos conceptos de magnitud como lo son las cargas, dimensiones y equipos empleados en la construcción de las mismas.
- IV. Unificación de toda la información anterior, buscando un comparativo en forma de matriz donde se evidencien las diferencias y similitudes que presentan los dos rascacielos teniendo en cuenta las descripciones de los capítulos anteriores; el clima de cada zona de estudio, el suelo presente en cada zona de estudio y las metodologías constructivas que se tuvieron en cuenta en la elaboración de cada una de las cimentaciones.

2. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS EN LAS ZONAS DE ESTUDIO

2.1. Introducción

En el presente capítulo se apreciarán las características específicas a las que están expuestas las estructuras de estudio (The Bahía Grand Panamá y BD Bacatá). Comenzando por un recorrido de los conceptos generales a describir como lo son las condiciones atmosféricas que son consideradas apreciables en el diseño de la cimentación. Poniendo principalmente en contexto a las estructuras y logrando el inicio de un punto de comparación.

2.2. Descripción conceptual del clima

El clima es una característica que se tendrá muy presente con el objetivo de contextualizar y reconocer el ambiente en el que se encuentran las estructuras.

Dando por entendido que el clima de un lugar se puede definir como el conjunto de manifestaciones atmosféricas y meteorológicas que en él suceden²⁴ donde tales manifestaciones se denominan más generalmente como elementos climatológicos.

Estos elementos son principalmente la radiación solar e irradiación terrestre, la temperatura, la humedad del aire, el viento, las nubes, las precipitaciones, tanto verticales como horizontales, la temperatura y humedad del suelo, la composición química del aire y de las precipitaciones, la presión atmosférica, los fenómenos luminosos de la atmósfera, la electricidad del aire y las radiaciones cósmicas que llegan hasta la superficie de nuestro planeta.²⁵

Gracias a estos elementos se puede describir y caracterizar de forma adecuada los diferentes climas que existen en el planeta, para así reconocer el entorno al que se enfrentarán los diferentes seres vivos y por ende crear sus diferentes entornos o situaciones. Como por ejemplo en el área de la construcción en donde debe tenerse en cuenta la climatología para las diferentes fases de un determinado proyecto.

Aunque en el presente capítulo no se describirán en su totalidad todos los elementos climatológicos, serán presentados y analizados los que más relevancia a consideración tengan en la influencia hacia el área de la construcción y más específicamente en la parte constructiva de la fundación de una estructura, tales como la temperatura, la humedad del aire y del suelo, el viento, la presión atmosférica y las precipitaciones.

²⁴ SEOÁNEZ, Mariano. Tratado de climatología aplicada a la ingeniería medioambiental: Análisis climático Uso del análisis climático en los estudios medioambientales. Madrid.: Editorial Aedos, 2001. p. 45.

²⁵ Ibíd., p. 46.

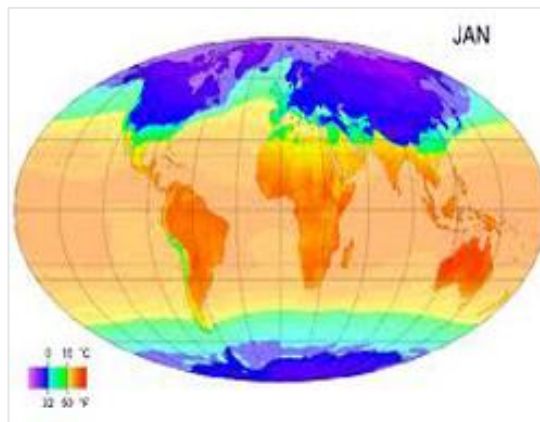
2.2.1. Temperatura

Como es de conocerse, la temperatura o el grado de calor que presenta un determinado momento y lugar, va estrictamente ligado con su altitud. Principalmente se habla de la temperatura del aire el cual es una característica que varía según la altitud en la que se encuentre un lugar.

Un factor importante es la radiación solar en el cual constantemente se pueden apreciar cambios climáticos debido a este fenómeno. La radiación solar que llega a la tierra determina la temperatura de la superficie terrestre. Señalando que “el grado y la duración de la exposición a la radiación solar pueden explicar muchas variaciones en las temperaturas diarias, latitudinales y estacionales, pero no se logra explicar por qué el aire se enfría con el aumento de la altitud.”²⁶

Por ejemplo en algunos de los montes que están ubicados en puntos donde la temperatura atmosférica es relativamente alta o existe un clima cálido, en su pico o parte más alta de la montaña presenta una cubierta de nieve. “La explicación de esta aparente rareza de la existencia de nieve en el trópico radica en las propiedades físicas del aire.”²⁷ La explicación de esta aparente rareza de la existencia de nieve en el trópico radica en las propiedades físicas del aire.

Figura 6. Relación de la temperatura con la latitud.



Temperatura de la Atmósfera

El sol es la fuente de energía. El 29 % de la energía es reflejada por los gases de la atmósfera, el 19% es absorbido por la atmósfera y el 52% restante llega a la tierra.²⁸

²⁶ SMITH, Thomas. Ecología. 6ta ed. Madrid.: Editorial Pearson, 2007. p. 51.

²⁷ Ibíd., p. 51.

²⁸ MASMAR. Temperatura.: La temperatura en la atmosfera. 2013. [En línea], 04 de Marzo de 2019. Disponible en Internet: <http://www.masmar.net/esl/Apuntes-N%C3%A1uticos/Meteorolog%C3%ADa/Temperatura.-la-temperatura-en-la-atm%C3%B3sfera>

2.2.2. Presión atmosférica

La presión atmosférica es otro de los factores que determinan el clima de un sitio y es definida como “el peso de la capa de aire que rodea a la Tierra, debido a la atracción que ejerce la fuerza de la gravedad sobre las moléculas de los distintos gases que la componen.”²⁹ Es decir que la presión atmosférica o presión del aire se presenta cuando “el peso del aire actúa como una fuerza sobre la superficie de la tierra, y se genera una cantidad de fuerza ejercida sobre un área determinada de la superficie”.

Aunque la presión atmosférica disminuye de manera continua, la tasa de disminución se va ralentizando con el incremento de la altitud. Debido a que la presión del aire es mayor sobre la superficie de la Tierra, la densidad del aire (el número de moléculas por unidad de volumen) es elevada, y disminuye de manera semejante a la presión del aire, a medida que subimos de altitud. A medida que la altitud sobre el nivel del mar aumenta, tanto la presión del aire como la densidad disminuyen.

2.2.3. Vientos

El viento es un desplazamiento del aire predominantemente horizontal. En las áreas montañosas el relieve determina en gran parte la importancia de los componentes no horizontales.

Y como se mencionó anteriormente el viento es un factor que ayuda a determinar el clima de un lugar por medio “del desplazamiento de las masas de aire que son provocadas por las diferencias de presión y temperatura entre unas zonas y otras, y por una serie de fuerzas a las que está sometida cada partícula de aire (”.³⁰

Para lograr entender la física del viento es necesario conocer las fuerzas que en el inciden, estas son:

- Fuerza de la gravedad
- Fuerza de presión (arrastra hacia la depresión o núcleo de bajas presiones)
- Fuerza de Coriolis (perpendicular al movimiento de la partícula)
- Fuerza centrífuga (si las isobaras son curvas)
- Rozamiento (opuesto a la velocidad)

²⁹ SEOÁNEZ, Mariano. Tratado de climatología aplicada a la ingeniería medioambiental: Análisis climático Uso del análisis climático en los estudios medioambientales. Madrid.: Editorial Aedos, 2001. p. 89.

³⁰ Ibíd., 191 p.

En relación con la distribución de presiones se produce y organiza la circulación atmosférica. Esta circulación es tanto más compleja cuanto más cerca del suelo. Tres elementos básicos integran y definen esta circulación atmosférica:

- El campo de presión.
- La velocidad del viento.
- La dirección del viento.

Describiendo los elementos que relacionan el viento con el clima se tiene que “la velocidad del viento está en relación directa, en la atmósfera libre, con la diferencia de presión entre dos puntos separados por una distancia dada, es decir, con el gradiente de presión. Este gradiente de presión es la primera fuerza que ocasiona el movimiento aéreo desde las áreas de altas presiones hacia las de bajas presiones.”³¹

Mientras que “la dirección del viento según lo expuesto anteriormente, el viento debería dirigirse desde las altas presiones hacia las bajas, lo que daría una dirección perpendicular al trazado de las isóbaras y siguiendo el gradiente de presión. El gradiente horizontal de presión, tal y como lo hemos definido arriba, podemos expresarlo como la disminución de la presión por unidad de distancia, medida en la dirección en que el cambio de presión es más pronunciado.”³²

* En el campo de la meteorología las isobaras son mapas o gráficos que muestran el comportamiento de la fuerza del viento, la dirección que esta tiene y la presión atmosférica por medio de líneas que indican la presión de un determinado espacio.

2.2.4. Humedad atmosférica

Esta variable del clima es definida como la cantidad de vapor de agua que existe en el aire, teniendo en cuenta la temperatura que es “un factor determinante de la humedad atmosférica, reduciéndose esta al bajar la temperatura, por lo que en las capas altas de la atmósfera la concentración de vapor de agua es mínima, casi inexistente”³³, es decir que depende de la temperatura de forma que resulta mucho más elevada en las masas de aire caliente que en las de aire frío.

“El aire en la atmósfera se considera normalmente como una mezcla de dos componentes: aire seco y vapor de agua. La capacidad de la atmósfera para recibir vapor de agua se relaciona con los conceptos de humedad absoluta, que corresponde a la cantidad de agua presente en el aire por unidad de volumen de

³¹ QUEREDA, José. Curso de climatología general. Castellón de la Plana, 2005. P 146

³² *Ibíd.*, p. 147.

³³ SEOÁNEZ, Mariano. Tratado de climatología aplicada a la ingeniería medioambiental: Análisis climático Uso del análisis climático en los estudios medioambientales. Madrid.: Editorial Aedos, 2001. p. 134.

aire, y la humedad relativa que es la razón entre la humedad absoluta y la cantidad máxima de vapor de agua que admite el aire por unidad de volumen. La humedad relativa se mide en tanto por ciento y está normalizada de forma que la humedad relativa máxima posible es el 100%.

Cuando la humedad alcanza el valor del 100%, se dice que el aire está saturado, y el exceso de vapor se condensa para convertirse en gotitas de niebla o nubes. El fenómeno del rocío en las mañanas de invierno se debe a que la humedad relativa del aire ha alcanzado el 100% y el aire no admite más vapor de agua. También se alcanza la saturación cuando usamos agua muy caliente en un recinto cerrado como por ejemplo en un baño. En este caso el agua caliente se evapora fácilmente y el aire de la habitación alcanza con rapidez el 100% de humedad relativa.”³⁴

2.2.5. Humedad del suelo

El contenido de agua del suelo es expresado como una relación entre la masa de agua contenida en una muestra de suelo y la masa seca de la muestra de suelo o el volumen original de la muestra. Estas dos expresiones están directamente relacionadas por un coeficiente conocido como la densidad aparente del suelo.

“El suelo, como un todo, está difícilmente en equilibrio ya que continuamente sufre alteraciones en sus propiedades físicas como: cambios mecánicos (expansión o contracción), movimiento de su fase líquida, transporte de solutos, variaciones térmicas, etc. Dichas alteraciones se deben principalmente al contenido de agua en el suelo (humedad). Conocer el contenido de humedad en el suelo y los efectos en sus propiedades físicas es de gran importancia para distintas líneas de investigación que abordan el tema.”³⁵

2.2.6. Precipitación

La precipitación es la componente fundamental del ciclo hidrológico.

“El término precipitación expresa todas las formas de humedad caídas directamente sobre el suelo en estado líquido o sólido, aunque en general, sólo la lluvia y la nieve se consideran relevantes para la contribución de los totales pluviométricos.

³⁴ MERUANE, Carolina. Determinación de humedad en la atmósfera. 2006.

³⁵ ZAMORA, Juan Carlos. La humedad en las propiedades físicas del suelo. Universidad Nacional de Colombia, 2008.

A continuación vamos a analizar las principales características de la precipitación y como pueden influir en la hidrología superficial.”³⁶

Las características principales son:

Intensidad: El histograma de la lluvia neta se ve influenciado directamente por la intensidad de las precipitaciones en cuanto supera la capacidad de infiltración del suelo. Por lo tanto, debido a esto, una mayor intensidad significa una lluvia neta superior, un mayor volumen de escorrentía y un caudal máximo superior.

Duración: Cuando la intensidad es mayor que la capacidad de infiltración, si al mismo tiempo se da una mayor duración de las precipitaciones aumenta el tiempo de la escorrentía y la proporción de las superficies que contribuyen al flujo. Así, de este modo una duración mayor de la lluvia neta aumenta el tiempo de base, el tiempo de subida, el caudal de punta y el volumen de escorrentía.

Distribución espacial: Una precipitación de intensidad no uniforme sobre una cuenca produce un desplazamiento de la punta del hidrograma en el momento en que es mayor el producto superficie-intensidad de la lluvia neta.

2.2.7. Salinidad

La Salinidad, puede definirse como un alto contenido de sal encontrado en diversos espacios, como es el caso de los suelos salinos o el agua, dicha sustancia es la que produce el sabor salado en el agua, esto se debe a que contiene un porcentaje considerable de cloruro de sodio.

“La salinidad y la sodicidad son problemas comunes en las regiones semiáridas y áridas del mundo, donde las precipitaciones son insuficientes para lixiviar las sales y el exceso de iones de sodio en la zona de la rizósfera de las plantas. Además, estas áreas se caracterizan por tener altas tasas de evaporación, lo que propicia un aumento en la concentración de sales en la superficie del suelo.” ³⁷

Importancia de la salinidad: El término empleado como salinidad, se originó en el año de 1902, como resultado de la cantidad total en gramos de sustancias que fueron disueltas y que se presentaban contenidas en un kilogramo de agua de mar, mostrando así que los carbonatos se convierten en óxidos, y que todos los elementos de los bromuros y los yoduros se trasforman en cloruros, generando así que todas las sustancias orgánicas se oxiden.

Aguas subterráneas: Se explican principalmente las aguas subterráneas y su salinidad ya que son de mayor énfasis en la temática del trabajo en general.

³⁶ SEOÁÑEZ, Mariano. Tratado de climatología aplicada a la ingeniería medioambiental: Análisis climático Uso del análisis climático en los estudios medioambientales. Madrid.: Editorial Aedos, 2001. p. 179.

³⁷ RUEDA, Omar Edgar. La salinidad: ¿Un problema o una opción?. México.: Editorial Plaza y Valdés. 2009. p. 17.

Entonces se dice que es uno de los factores que se producen de forma o fuentes naturales y está definida como “aquellas que presentan una concentración salina, la cual resulta mayor a las aguas superficiales, debido a dos razones: la primera es por el contacto prolongado, a través de las condiciones favorables, con los minerales de las rocas, otra de las causas es cuando entra en contacto con las masas de agua salina del mar, y establece su proceso, este sucede generalmente en las zonas costeras”³⁸

Suelo salino: “La salinización de los suelos, es originada como resultado de un proceso de acumulación en el suelo, donde se encuentra una determinada cantidad de sales solubles en agua. Este proceso puede realizarse de manera natural, generalmente en los suelos bajos y planos, ya que estos, son frecuentemente inundados por ríos o arroyos; también puede ocurrir en el nivel de las aguas subterráneas debido que es poco profunda y el agua que asciende por capilaridad contiene sales disueltas.”³⁹

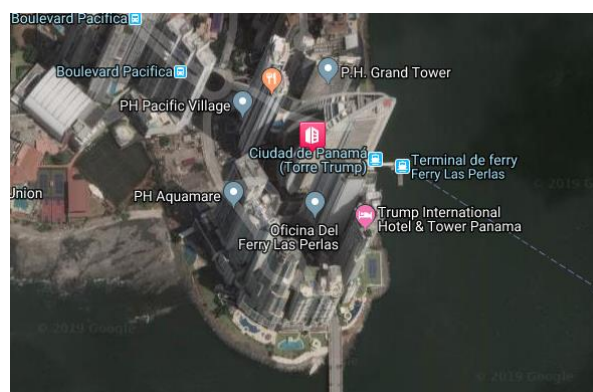
2.3. Descripción de la zona de estudio (THE BAHIA GRAND PANAMA)

2.3.1. Ubicación y posición geográfica

La torre se encuentra en una de las bahías de Panamá ubicada en la originaria península de Punta Pacífica en Ciudad de Panamá. La propiedad está ubicada a 3 km aproximadamente del centro de la capital.

Punta Pacífica es una zona residencial situada frente al Océano Pacífico y situada en el corregimiento de San Francisco en la ciudad de Panamá a sólo 15 minutos de Aeropuerto Internacional de Tocumen.

Figura 7. Foto satelital de ubicación del hotel



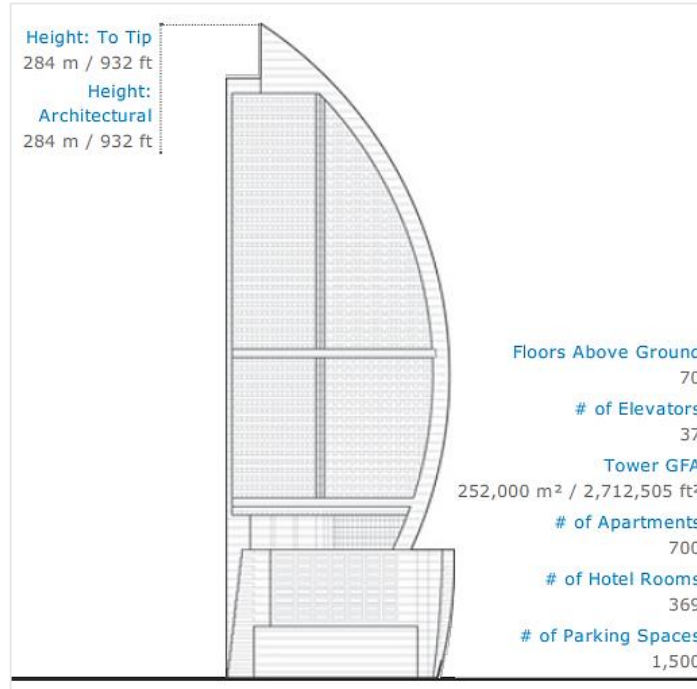
Fuente: Google Earth

³⁸ MI SISTEMA SOLAR. Salinidad: ¿Qué es?, salinidad del suelo, del mar y más. [En línea], 08 de Marzo de 2019. Disponible en internet: <http://misistemasolar.com/salinidad/>

³⁹ Ibid.

2.3.2. Descripción general

Figura 8. Características del Bahía Grand Panama



Fuente: The Skyscraper Center; the global tall Building Database of the CTBUH

“El Trump Ocean Club fue un proyecto impulsado directamente por el reconocido empresario inmobiliario Donald Trump y que se incorpora a las Torres Trump a nivel mundial. Esta es la única estructura que se construyó en nombre del actual presidente de los Estados Unidos, en América Latina y será un ícono, donde podremos apreciar lujo y sofisticación.”⁴⁰

La torre cuenta con 284 metros de altura y 70 plantas, es la sede de un hotel que hasta marzo de 2018 se llamó Trump Ocean Club International Hotel and Tower debido a cambios de administración y conflictos internos. Según el principal accionista del edificio más alto de Panamá, el apellido Trump perjudica a su establecimiento.

⁴⁰ CAMPOS, Itzel. Trump Ocean Club Hotel & Tower. En: Panamá América. Junio, 2010. Vol. 1

Figura 9. Fotografía The Bahía Grand Panama



Figura 10. Fotografía The Bahía Grand Panama durante la visita técnica



Fuente: Autoría

2.3.3. El clima

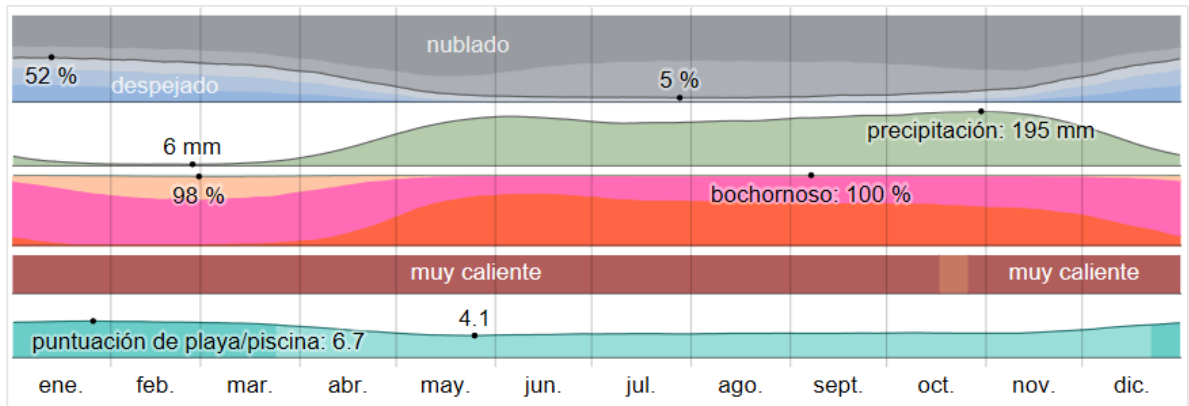
“El clima de Panamá es de influencia tropical. Y aunque es un país que no se encuentra sobre la línea del ecuador, sí que se sitúa dentro del *ecuador térmico y pluviómetro*. Se diferencian dos zonas o regiones climáticas en Panamá: la costa bañada por el Mar Caribe y la costa del Océano Pacífico.”⁴¹

Como clima tropical que es, se distinguen dos estaciones a lo largo del año; la estación lluviosa, desde abril hasta diciembre, y la estación seca, desde diciembre hasta marzo.

⁴¹ La guía. Panamá: Clima y vegetación. 7 de agosto de 2007. [En línea], 13 de marzo de 2019. Disponible en : <https://geografia.laguia2000.com/climatologia/panama-clima-y-vegetacion>

El invierno en Panamá se caracteriza por tener menos lluvia que en verano; la temporada de lluvia es nublada y la temporada seca es ventosa y parcialmente nublada, pero en general durante todo el año es muy caliente y opresivo.

Gráfico 1. Resumen del clima en Panamá



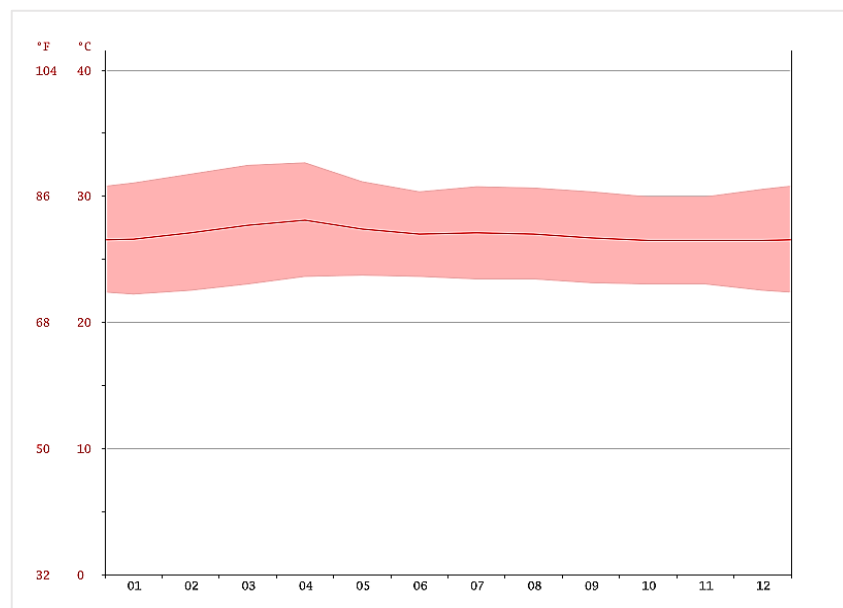
Fuente: Weather Spark

2.3.3.1. Temperatura

La temperatura en Panamá oscila entre los 27.0 ° C promedio.

Más específicamente durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 24 °C a 32 °C y rara vez baja a menos de 23 °C o sube a más de 34 °C.

Gráfico 2. Temperaturas promedio durante el año en Panamá



Fuente: Climate-data.org

Más específicamente en la costa del pacífico donde se encuentra ubicada la torre, la estación seca está más marcada. Entre Julio y agosto tiene lugar el “veranillo”. Las temperaturas ascienden de nuevo y se sitúan en los 27°C de media. Las máximas pueden superar los 35°C en determinadas fechas. Al igual que en el Caribe, la temperatura de las aguas suele mantenerse en los 27°C.

2.3.3.2. Presión atmosférica

La presión atmosférica en Panamá como en todos los lugares del mundo va a variar de acuerdo a unos factores que alteran su magnitud, como lo son la altitud, la marea, la temperatura y el viento presente a cada hora del día.

Según la relación de los gases ideales, si aumenta la temperatura de una masa de aire y el volumen se mantiene constante, la presión va a aumentar. Esto se debe a que el aire está formado por moléculas que se mueven en todas las direcciones; cuando aumentamos la temperatura, estas moléculas se mueven más rápido, chocando contra objetos y aumentando la presión. Además debido a que Panamá se encuentra a una altitud de aproximadamente 2 msnm (más cerca al nivel del mar) las presiones son mucho mayores.

La presión que ejerce el aire en esta zona está entre 1012 hPa (Hectopascales) a una temperatura de 26°C y 1009 hPa a una temperatura de 30°C.

2.3.3.3. Vientos

Esta sección trata sobre el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora.

“La velocidad promedio del viento por hora en Panamá tiene variaciones estacionales extremadas en el transcurso del año.

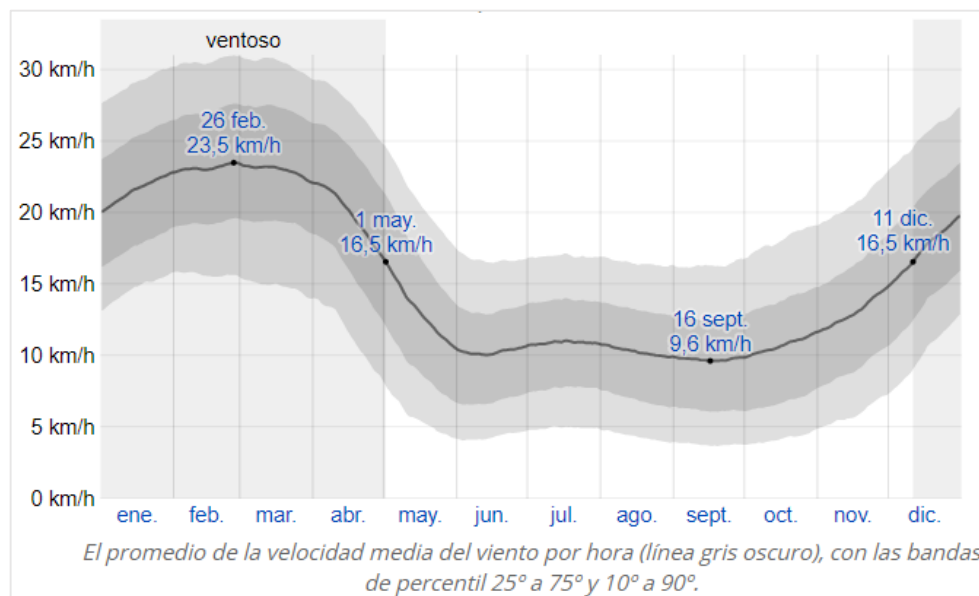
La parte más ventosa del año dura 4,7 meses, con velocidades promedio del viento de más de 16,5 kilómetros por hora.”⁴²

Pero hay que tener en cuenta que el viento es un factor relevante en el diseño de una estructura y más aún en Panamá. Para el diseño de edificios de gran altura en este lugar se tienen en cuenta los vientos que pueden llegar a tales alturas y afectar

⁴² El clima promedio en Panamá. [En línea]. Weather Spark. 13 de marzo 2019. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/19385/Clima-promedio-en-Panam%C3%A1-durante-todo-el-a%C3%B1o>

la estructura. Según el ingeniero Oscar Ramírez “estas velocidades varían entre 115 kilómetros por hora que salen del pacifico y 140 kilómetros por hora que llegan del caribe del país.”⁴³ Datos tomados de estudios climatológicos en estaciones puestas en Aeropuertos de Albrook y Tocúmen.

Gráfico 3. Velocidad promedio del viento (Panamá)



Fuente: Weather Spark

La dirección predominante promedio por hora del viento en Panamá varía durante el año.

2.3.3.4. Humedad atmosférica

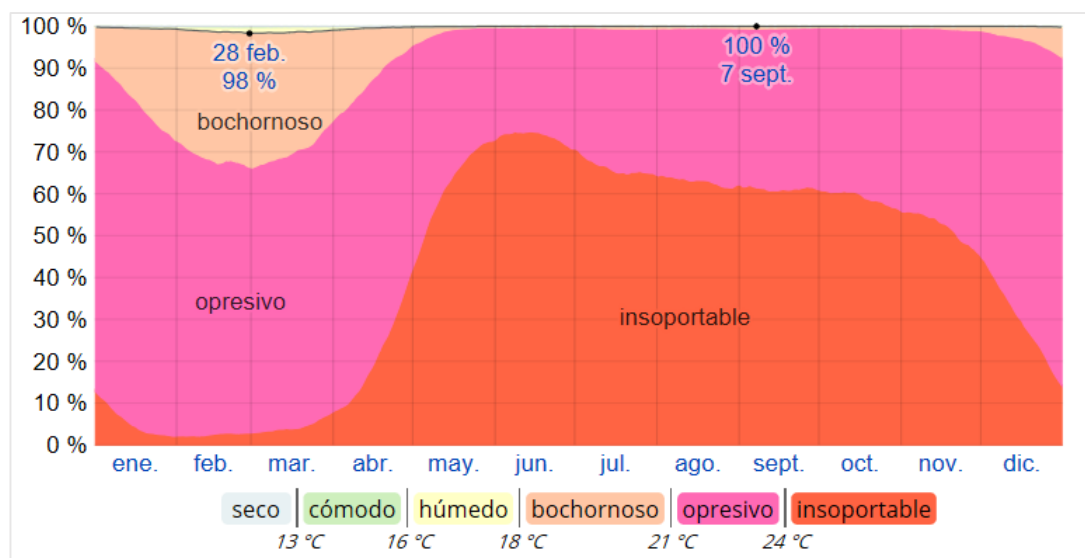
Durante la estación de lluvias las temperaturas descienden ligeramente, pero la humedad aumenta hasta llegar al 90%, incluso el 100% en determinadas zonas.

“Basamos el nivel de comodidad de la humedad en el punto de rocío, ya que éste determina si el sudor se evaporará de la piel enfriando así el cuerpo. Cuando los puntos de rocío son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo. El nivel de humedad percibido en Panamá, debido por el porcentaje de tiempo en el cual el nivel de comodidad de humedad es *bochornoso, opresivo o insoportable*, no varía considerablemente durante el año, y permanece entre el 1 % del 99 %.”⁴⁴

⁴³ RAMIREZ, Oscar. Diseño y Construcción de Edificios Altos en Panamá. México D.F, (2015).

⁴⁴ El clima promedio en Panamá. [En línea]. Weather Spark. 13 de marzo 2019. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/19385/Clima-promedio-en-Panam%C3%A1-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Gráfico 4. Niveles de comodidad de la humedad (Panamá)



Fuente: Weather Spark

2.3.3.5. Humedad del suelo

“Los valores de humedad se capturan de manera puntual entre 2 y 3 veces a la semana por toda la temporada de verano. Se establece que por cada punto de muestro se toma un aproximado de 630 mediciones de CO₂ de suelo, humedad dentro de la cámara y temperatura de suelo. Estas medidas son obtenidas por medio de los sensores de humedad y temperatura incorporada en una cámara de respiración de suelo.”⁴⁵

Los datos obtenidos son:

Humedad Relativa del suelo: contenido volumétrico de agua (% volumen) dentro de la cámara.

Humedad Relativa en la Cámara del suelo (%) promedio = 68.67%

El contenido de humedad relativa de la cámara del suelo encontrado se mantuvo dentro el rango de 23.1 y 87.2%.

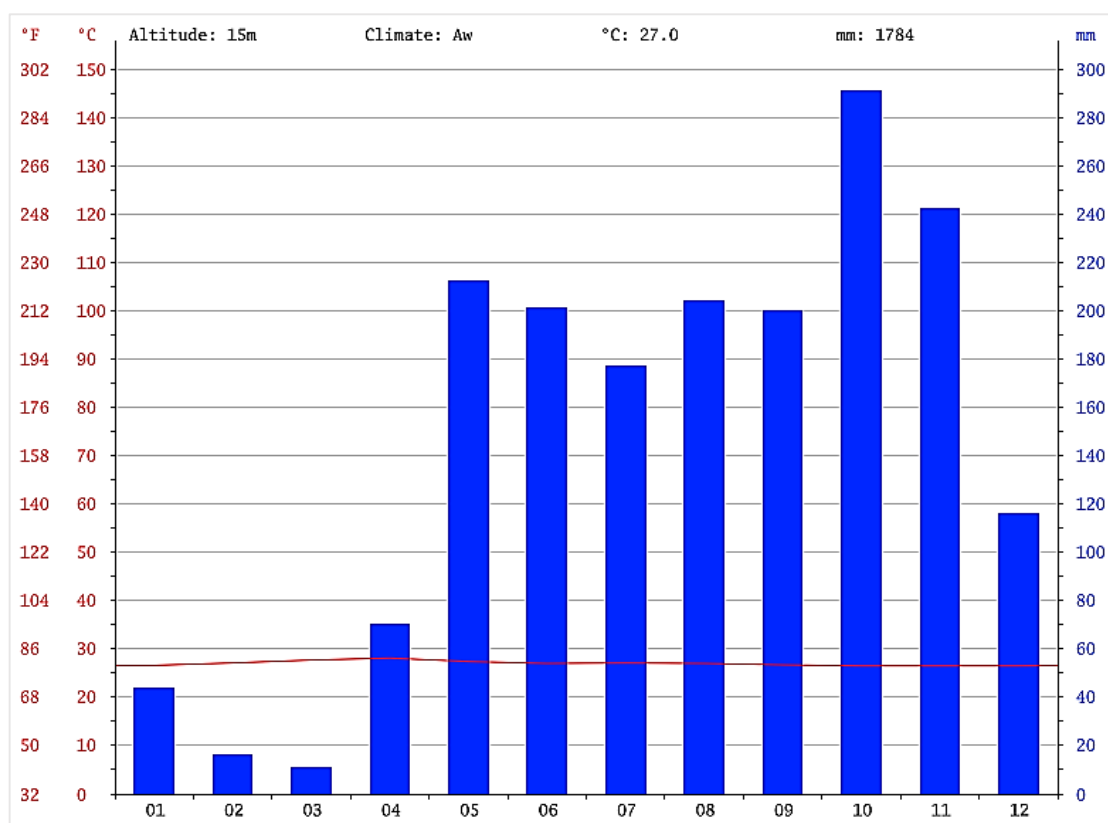
⁴⁵ NUÑEZ, María. Respiración de dióxido de carbono de suelo, en bosque tropical húmedo – Gamboa Panamá. Panamá. RIDTEC.,²⁰¹⁷. Vol. 13.

2.3.3.6. Precipitación

La precipitación total aproximada es de 1784 mm.

“En la zona del pacífico las lluvias son de intensidad fuerte y pueden venir acompañadas de carga eléctrica, sobre todo en las tormentas formadas durante la tarde. Las máximas precipitaciones caen entre Mayo y Noviembre, siendo Septiembre y Octubre los meses más lluviosos.”⁴⁶

Gráfico 5. Precipitación de acuerdo a la temperatura en el año (Panamá)



Fuente: Climate-data.org

⁴⁶ Clima de Panamá. Un país de costas. [En línea], 15 de marzo de 2019. Disponible en: <https://www.clima-de.com/panama/>

2.3.3.7. Salinidad

Conocer la salinidad del agua marina contribuirá a mejorar la comprensión de los científicos sobre procesos climáticos claves.

Panamá cuenta con un alto grado de salinidad en sus suelos, debido a que su mayor área está rodeada de mar, por el sur este colinda con el océano pacífico y por el norte con el mar caribe.

“Estas características propias de cada litoral, conducen a condiciones oceanográficas distintas, que en algunos casos son más marcadas.

Por ejemplo, en la Costa del Pacífico, específicamente en el Golfo de Panamá, se presenta el fenómeno de afloramiento costero, durante la temporada seca, trayendo consigo variaciones en los parámetros físico-químicos de las aguas superficiales como: disminución significativa de la temperatura del agua, aumento pronunciado de la salinidad, aumento significativo en la concentración de nitrato, fósforo total y clorofila *a* y una disminución del oxígeno disuelto por debajo de la termoclina.”⁴⁷

Existe un habitat llamada Bosque seco premontano, se encuentra hacia el lado del mar de la gran zona de vida Tropical Seca, encontrándose tierra adentro del golfo de Panamá, en Coclé, Herrera y Los Santos.

El área tiene una superficie de 2,070 kilómetros cuadrados representando el 3% del territorio nacional. La precipitación en todas partes es menor de 1,100 mm llegando a ser tan baja como de 900 mm.

Además los suelos de esta zona de vida son generalmente excelentes, ya que ocupan terrenos mayormente nivelados con pendientes suaves, derivados de depósitos costeros marinos o aluviones. Algunas de las áreas inundables costeras particularmente al sur de Aguadulce provincia de Coclé, han sido convertidas en salinas naturales de donde se extrae la mayor parte de la sal mineral que consume la población panameña.

⁴⁷ CASTILLO, Verónica. Establecimiento de una línea base de parámetros de calidad de agua marina costera para la evaluación de los posibles efectos del cambio climático en Punta Galeta, Playa Teta, Playa Hermosa y Playa La Marinera. Revista I+D Tecnológico. Universidad Tecnológica de Panamá. Vol. 12 Núm. 1 (2016).

2.4.2. Descripción general

El BD Bacatá es la segunda torre más alta de Suramérica, después de la Gran torre Santiago de Chile.

“Cuenta con un área total construida de 113.000 m². Está conformado por dos torres; una de 68 pisos con 220 m de altura, y otra de 56 pisos con 170 m de altura. Ambas torres comparten 7 sótanos y cinco plantas. El complejo arquitectónico lo constituye un hotel con capacidad para 364 habitaciones, 405 apartamentos, 117 oficinas y un centro comercial con 32 locales.

Este complejo arquitectónico está construido a la vanguardia de la ingeniería civil mundial, con materiales exclusivos e innovadores que integran conceptos de sostenibilidad ambiental, al aplicar estudios bioclimáticos que permiten el ahorro de agua y energía.”⁴⁸

Figura 13. Render de la torre BD Bacatá.



Fuente: Archdaily

⁴⁸ PRABYC Ingenieros. Detalle – Proyecto BD Bacatá – Bogotá. [En línea]. 24 de marzo de 2019. Disponible en: <http://www.prabyc.com.co/detalle-proyecto/bd-bacata--Bogotá>.

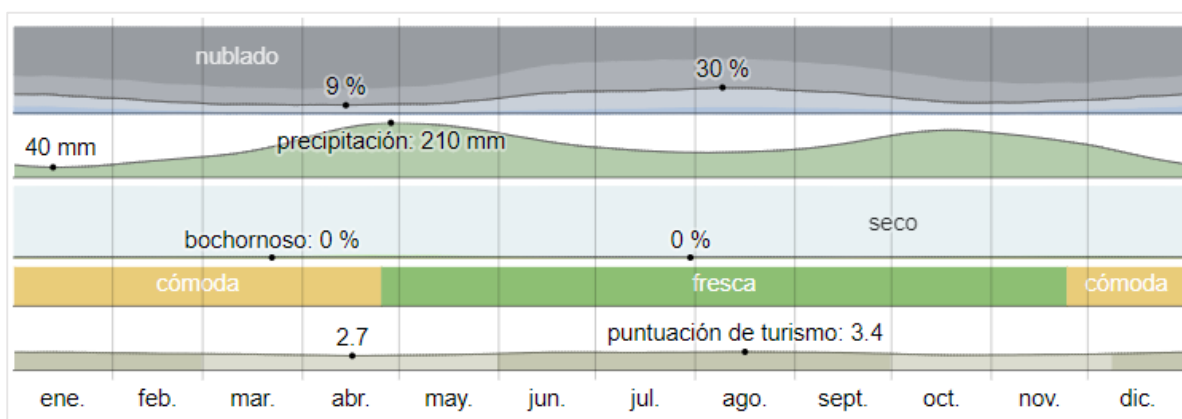
2.4.3. El clima

Bogotá se caracteriza por tener un clima moderadamente frío, con cerca de 14°C en promedio.

“Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 7 °C a 19 °C y rara vez baja a menos de 3 °C o sube a más de 21 °C. Aun así por ser un clima tropical, el frío se acentúa en jornadas de lluvia o de poco sol.”⁴⁹

“El clima de esta ciudad puede ser muy impredecible, se pueden presentar cambios repentinos de temperatura, por eso se debe estar siempre preparado para el frío, el sol y la lluvia. En Bogotá, los veranos son cómodos y nublados y los inviernos son cortos, frescos, mojados y mayormente nublados.”⁵⁰

Gráfico 6. Resumen del clima en Bogotá.



Fuente: Weather Spark

2.4.3.1. Temperatura

“La temporada templada dura 3,2 meses, del 20 de diciembre al 26 de marzo, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 19 °C. El día más caluroso del año es el 6 de febrero, con una temperatura máxima promedio de 19 °C y una temperatura mínima promedio de 10 °C.

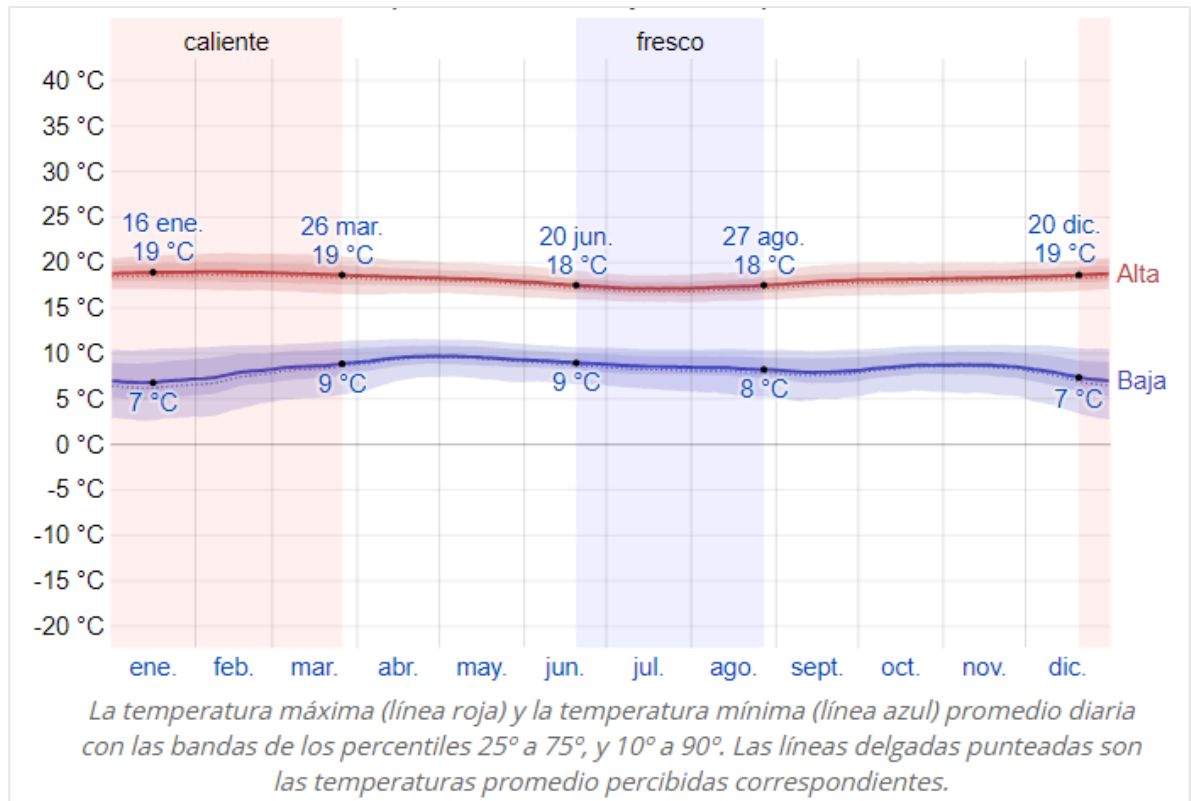
La temporada fresca dura 2,2 meses, del 20 de junio al 27 de agosto, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 18 °C. El día más frío del año es

⁴⁹ El clima promedio en Bogotá. [En línea]. Weather Spark. 13 de marzo 2019.

⁵⁰ Ramírez, L. El clima de Bogotá. Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaria general, 21 de noviembre de 2017. [En línea], revisado el 13 de marzo de 2019. Disponible en: <http://www.bogota.gov.co/ciudad/clima>.

el 16 de enero, con una temperatura mínima promedio de 7 °C y máxima promedio de 19 °C.”⁵¹

Gráfico 7. Temperatura máxima y mínima promedio (Bogotá)



Fuente: Weather Spark

2.4.3.2. Presión atmosférica

“En Bogotá la presión atmosférica se encuentra en un promedio entre 746.60 hPa

El valor máximo de presión atmosférica ocurre en la mañana (753,5 hPa), éste es mayor que el máximo de la noche (753,2 hPa), y el mínimo de la tarde (750,6 hPa) es menor que el de la madrugada (751,8 hPa).”⁵²

⁵¹ El clima promedio en Bogotá. [En línea]. Weather Spark. 13 de marzo 2019. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/23324/Clima-promedio-en-Bogot%C3%A1-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-BestTime>

⁵² IDEAM. Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo. Alcandía mayor de Bogotá D.C. [En línea] 15 de marzo de 2019. p. 27.

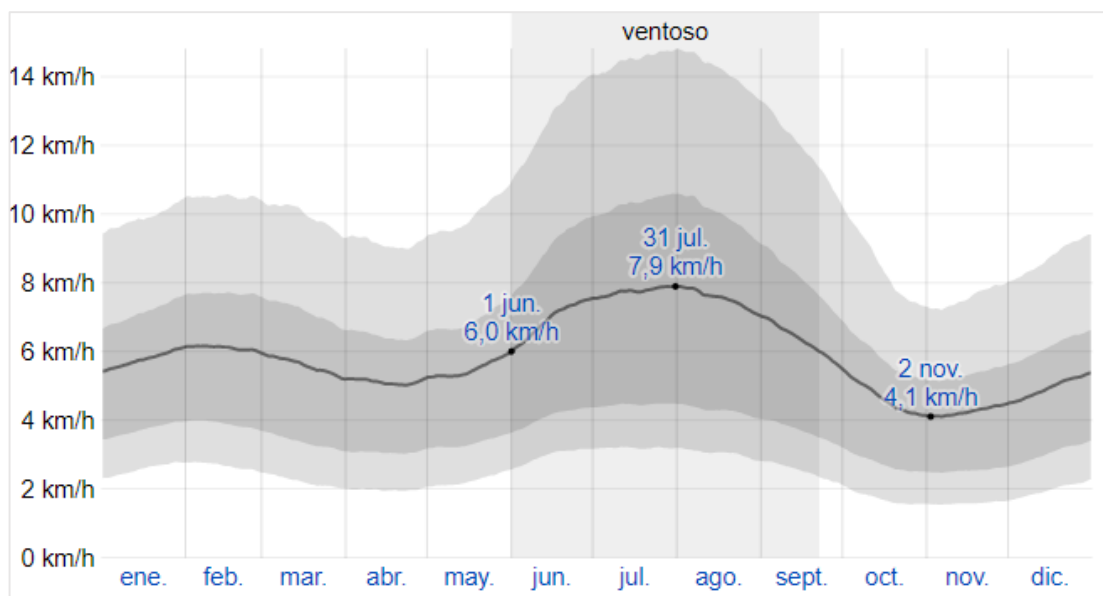
2.4.3.3. Vientos

Esta sección trata sobre el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora. “La velocidad promedio del viento por hora en Bogotá tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año.

La parte más ventosa del año dura 3,7 meses, del 1 de junio al 22 de septiembre, con velocidades promedio del viento de más de 6,0 kilómetros por hora. El día más ventoso del año es el 31 de julio, con una velocidad promedio del viento de 7,9 kilómetros por hora.”⁵³

“Para consideración de carga en el diseño de edificaciones se tiene en cuenta la fuerza a una altura mayor, esta se encuentra entre 80 Kilómetros por hora y 100 kilómetros por hora en Bogotá.”⁵⁴

Gráfico 8. Velocidad promedio del viento (Bogotá)



Fuente: Weather Spark

⁵³ El clima promedio en Bogotá. En línea. Weather Spark. 13 de marzo 2019. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/23324/Clima-promedio-en-Bogot%C3%A1-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-BestTime>

⁵⁴ Santana, Guillermo. Evaluación de código por viento. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente. 1998. p. 2.

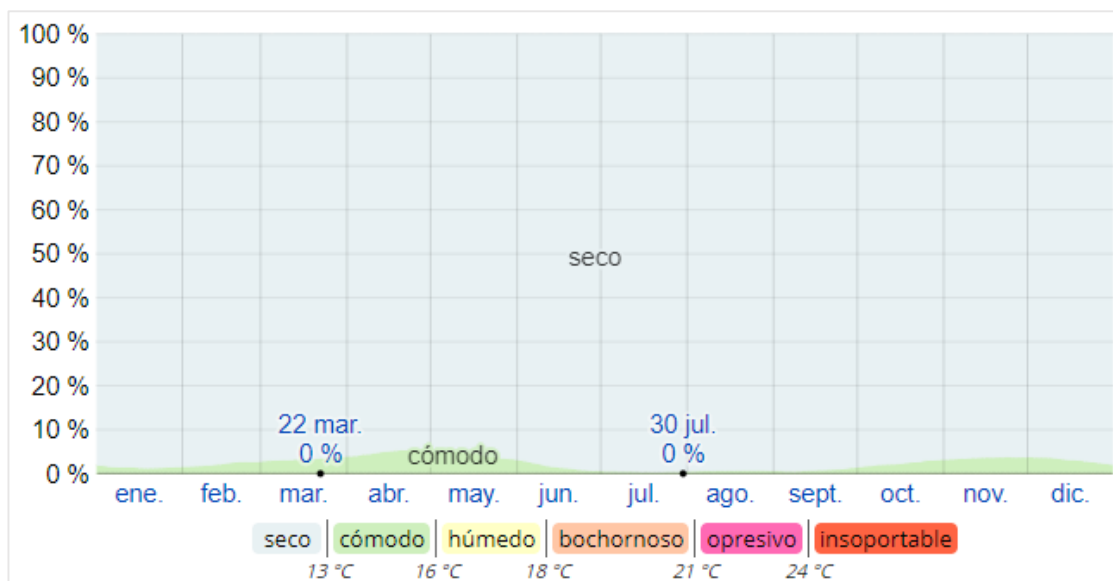
2.4.3.4. Humedad atmosférica

Bogotá cuenta con una humedad aproximada cercana al 80%, los habitantes y visitantes de la ciudad no experimentan un clima húmedo, pues en parte se ve compensado este exceso de agua con magníficas "ráfagas" de viento que hacen que la ciudad permanezca un poco más seca, especialmente en meses como enero a febrero, Julio y Agosto.

“Basamos el nivel de comodidad de la humedad en el punto de rocío, ya que éste determina si el sudor se evaporará de la piel enfriando así el cuerpo. Cuando los puntos de rocío son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo. A diferencia de la temperatura, que generalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente, así es que aunque la temperatura baje en la noche, en un día húmedo generalmente la noche es húmeda.

El nivel de humedad percibido en Bogotá, medido por el porcentaje de tiempo en el cual el nivel de comodidad de humedad es bochornoso, opresivo o insoportable, no varía considerablemente durante el año, y permanece prácticamente constante en 0 %.”⁵⁵

Gráfico 9. Niveles de comodidad de la humedad (Bogotá)



Fuente: Weather Spark

⁵⁵ El clima promedio en Bogotá. En línea. Weather Spark. 13 de marzo 2019. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/23324/Clima-promedio-en-Bogot%C3%A1-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-BestTime>

2.4.3.5. Humedad del suelo

La humedad del suelo se convierte en una variable de gran interés dada su alta incidencia en el fenómeno de asentamientos de las estructuras en Bogotá.

“Mediante técnicas de análisis geoestadístico este estudio fue provisto por la Empresa de Acueducto de Bogotá, EAB, la cual compiló los datos provenientes de más de 1.000 proyectos de estudios geotécnicos esencialmente; contiene información de cerca de 7.400 puntos (perforaciones), con un total de casi 43.000 muestras, para las cuales se calcularon mediante ensayos de laboratorio y campo, la humedad natural, el nivel freático y la resistencia a la compresibilidad del suelo, entre otros, a diferentes profundidades.

Hacia la parte norte de la ciudad, desde la calle 13 hasta la calle 200 y cementerios, y desde la carrera séptima hasta la 120, la humedad oscila entre 65% y 135% debido al tipo de suelo limo arcilloso.

Más específicamente a una profundidad entre 4 m y 6 m, 1.645 puntos con una media de 58.3% y una mediana de 38.2%, que dejan ver cómo existen mayores valores de humedad porcentual del suelo a medida que se aumenta la profundidad.

De 6m a 15 m de profundidad es donde menor cantidad de información se encuentra en la base de datos de la EAB. Se trabajó con una muestra de 1.143 puntos y se obtuvieron los siguientes valores para los parámetros estadísticos: media de 79.56% y mediana de 70.83%”⁵⁶

2.4.3.6. Precipitación

“En ocasiones ocurren lluvias torrenciales o "aguaceros", las cuales también ocasionalmente vienen acompañadas de "granizo".

Con ocasión al cambio climático y los fenómenos del Niño y la Niña, el clima de Bogotá es impredecible. Generalmente entre marzo, mayo, septiembre y noviembre son meses de lluvias intensas, el resto de meses la precipitación es menor.”⁵⁷

Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en Bogotá varía muy considerablemente durante el año.

⁵⁶ CANGREJO, Dense. Información geotécnica como elemento de análisis en la planeación y diseño de obras civiles en Bogotá. Bogotá., Ingeniería e investigación. 2005., vol. 25.

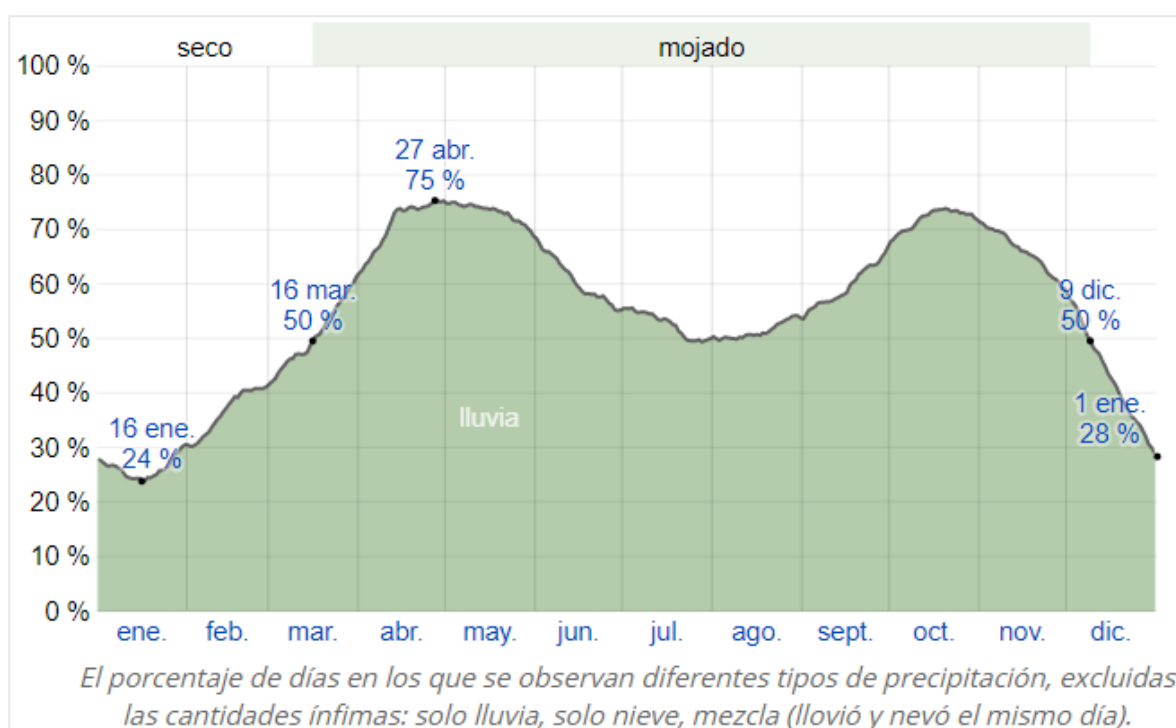
⁵⁷ Ramírez, L. El clima de Bogotá. Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría general, 21 de noviembre de 2017. [En línea], revisado el 13 de marzo de 2019. Disponible en: <http://www.bogota.gov.co/ciudad/clima>.

“La temporada más mojada dura 8,8 meses, de 16 de marzo a 9 de diciembre, con una probabilidad de más del 50 % de que cierto día será un día mojado. La probabilidad máxima de un día mojado es del 75 % el 27 de abril.

La temporada más seca dura 3,2 meses, del 9 de diciembre al 16 de marzo. La probabilidad mínima de un día mojado es del 24 % el 16 de enero.

Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 75 % el 27 de abril.”⁵⁸

Gráfico 10. Probabilidad de precipitación (Bogotá)

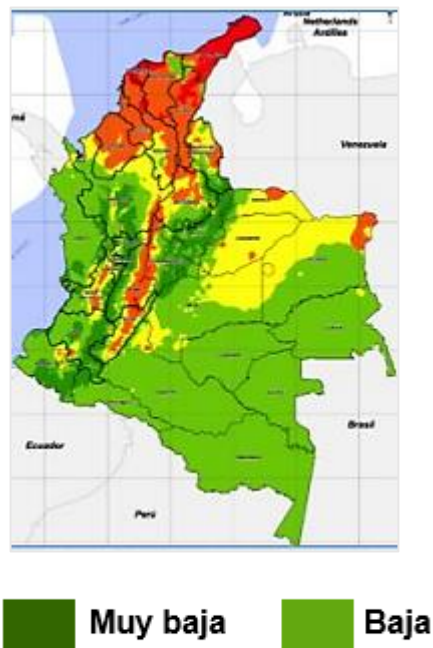


Fuente: Weather Spark

⁵⁸ El clima promedio en Bogotá. En línea. Weather Spark. 13 de marzo 2019. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/23324/Clima-promedio-en-Bogot%C3%A1-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-BestTime>

2.4.3.7. Salinidad del lugar

Figura 14. Zonas susceptibles a degradación por salinización



Fuente: Ideam.gov.co⁵⁹

Bogotá se encuentra en una región donde no son predominantes las áreas perjudicadas por la salinidad tanto del suelo como del ambiente ya que esta característica va ligada e influenciada directamente por el clima o la temperatura del lugar.

Según la figura 18, Bogotá se encuentra en una zona en donde su temperatura es relativamente baja y es afectada muy levemente por la salinidad, es decir tiene una salinidad baja a muy baja.

⁵⁹ IDEAM. Mapa nacional de degradación de suelos por salinización. 2017. p. 18.

3. CLASIFICACIÓN DEL SUELO EN LAS ÁREAS DE ESTUDIO

3.1. Introducción

El diseño de cimentaciones requiere por lo general la identificación de ciertos factores como la carga que se transmitirá de la estructura al sistema de cimentación, el comportamiento y la deformabilidad relacionada con el esfuerzo de los suelos que soportará la cimentación y las condiciones geológicas del área en consideración. Teniendo en cuenta que los dos últimos son los más importantes en el diseño de esta parte de una estructura ya que son la base de todo y tiene que ver con la mecánica de los suelos.

Por este motivo en el capítulo se presentarán los conceptos básicos para comprender la interacción que existe entre la estructura y el suelo, tanto generalmente como específicamente en cada área de estudio, dando a conocer las características, variaciones y distancias estratigráficas en cada uno de los suelos existentes en los proyectos a comparar con el objetivo de tener una idea clara de las condiciones a las que se tuvieron que enfrentar para la selección de la cimentación.

3.2. Clasificación de los suelos

Desde un punto de vista constructivo, los suelos se clasifican atendiendo a su integridad y capacidad portante en rocas, suelos granulares y suelos finos.

I. Rocas

“Se definen como rocas los suelos coherentes que son susceptibles de soportar con escasa deformación el peso de las edificaciones. Atendiendo al tipo de roca, y de modo orientativo, las tensiones admisibles sobre el terreno en la cota de apoyo de la cimentación se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Tensiones admisibles depende el tipo de roca en la cota de apoyo de la cimentación

Tipos y condiciones admisibles	Mpa (Kp/cm²)
Rocas ígneas y metamórficas sanas (Granito, diorita, basalto, gneis)	10 (100)
Rocas metamórficas foliadas sanas (Esquistos, pizarras)	3 (30)
Rocas sedimentarias sanas. Pizarras cementadas, limolitas, areniscas, calizas sin karstificar, conglomerados cementados	1 a 4 (10 a 40)
Rocas arcillosas sanas	0,5 a 1 (5 a 10)
Rocas diaclasadas de cualquier tipo con espaciamiento de discontinuidades superior a 0,30m, excepto rocas arcillosas	1 (10)

Fuente: Prontuario características técnicas de los terrenos y cimentaciones adecuadas a los mismos.

Se considera roca diaclasada cuando la roca está decolorada en la pared, la meteorización empieza a penetrar hacia el interior de la roca desde las discontinuidades y el material es notablemente más débil en la pared que en la roca sana aunque este material débil representa menos del 50% del total.”⁶⁰

“Las rocas calizas, areniscas y rocas pizarrosas con separaciones pequeñas entre los planos de estratificación así como las demás que estén muy diaclasadas o meteorizadas requieren un estudio específico. Se considera que existe una meteorización alta cuando más de la mitad del material se encuentra descompuesto a suelo.

Se considera roca diaclasada cuando la roca está decolorada en la pared, la meteorización empieza a penetrar hacia el interior de la roca desde las discontinuidades y el material es notablemente más débil en la pared que en la roca sana aunque este material débil representa menos del 50% del total.

Las rocas calizas, areniscas y rocas pizarrosas con separaciones pequeñas entre los planos de estratificación así como las demás que estén muy diaclasadas o meteorizadas requieren un estudio específico. Se considera que existe una meteorización alta cuando más de la mitad del material se encuentra descompuesto a suelo.”⁶¹

II. Suelos granulares

“Este tipo de suelos está constituido por materiales de origen sedimentario en los que el porcentaje de material fino (limos y arcillas) es inferior al 35% en peso. Los valores de tensión admisible que se consideran para este tipo de suelo se suponen para anchos de cimentación mayores o iguales a 1 m y nivel freático situado a una profundidad mayor al ancho de la cimentación por debajo de ésta.”⁶²

⁶⁰ MAPFRE. Prontuario: Características técnicas de los terrenos y cimentaciones adecuadas a los mismos. [En línea], 22 de marzo de 2019. p. 4

⁶¹ *Ibíd.*, p.4

⁶² Prontuario: Características técnicas de los terrenos y cimentaciones adecuadas a los mismos. [En línea], 22 de marzo de 2019. Disponible en: https://www.mapfrere.com/reaseguro/es/images/Prontuario-Suelos-Cimentaciones_tcm636-27.pdf. p. 5

Tabla 2. Tensiones admisibles depende el tipo de suelo granular.

Tipos y condiciones admisibles	Mpa (Kp/cm²)
Gravas y mezclas de arena y grava, muy densas	>0,6 (>6)
Gravas y mezclas de grava y arena, medianamente densas a densas	0,2 a 0,6 (2 a 6)
Gravas y mezclas de arena y grava, sueltas	<0,2 (<2)
Arena muy densa	>0,3 (>3)
Arena medianamente densa	0,1 a 0,3 (1 a 3)
Arena suelta	<0,1 (<1)

Fuente: Prontuario características técnicas de los terrenos y cimentaciones adecuadas a los mismos.

III. Suelos finos

“Los suelos finos están también constituidos por materiales detríticos pero en ellos el porcentaje de elementos finos es superior al 35% en peso.

Las tensiones admisibles en estos suelos que se muestran en la tabla siguiente son orientativos y cuando sean suelos finos normalmente consolidados y ligeramente sobre consolidados en los que sean de esperar asientos de consolidación así como en los suelos arcillosos potencialmente expansivos deberán ser objeto de un estudio especial.”⁶³

Tabla 3. Tensiones admisibles depende el tipo de suelo fino.

Tipos y condiciones admisibles	Mpa (Kp/cm²)
Arcillas duras	0,3 a 0,6 (3 a 6)
Arcillas muy firmes	0,15 a 0,3 (1,5 a 3)
Arcillas firmes	0,075 a 0,15 (0,75 a 1,5)
Arcillas y limos blandos	<0,075 (<0,75)

Fuente: Prontuario características técnicas de los terrenos y cimentaciones adecuadas a los mismos.

⁶³ Prontuario: Características técnicas de los terrenos y cimentaciones adecuadas a los mismos. [En línea], 22 de marzo de 2019. Disponible en: https://www.mapfrere.com/reaseguro/es/images/Prontuario-Suelos-Cimentaciones_tcm636-27.pdf. p.6

Por último, es preciso considerar la composición química del suelo y de las aguas freáticas puesto que determinados componentes pueden resultar agresivos para el hormigón y afectar a su durabilidad y resistencia. La calificación del medio como agresivo determina la necesidad de emplear cementos especiales. A continuación se presenta la clasificación de la agresividad química de suelos, rocas y aguas.

Tabla 4. Clasificación de la agresividad química de suelos, rocas y aguas.

Tipo de Medio Agresivo	Parámetros	Tipo de exposición		
		Qa	Qb	Qc
		Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Agua freática	Valor del pH	6,5-5,5	5,5-4,5	< 4,5
	CO ₂ agresivo (mg CO ₂ /l)	15-40	40-100	> 100
	Ión amonio (mg NH ₄ ⁺ /l)	15-30	30-60	> 60
	Ión magnesio (mg Mg ²⁺ /l)	300-1000	1000-3000	> 3000
	Ión sulfato (mg SO ₄ ²⁻ /l)	200-600	600-3000	> 3000
	Residuo seco a 110° C (mg/l)	75-150	50-75	< 50
Suelo	Grado de acidez Baumann-Gully	> 20		
	Ión sulfato (mg SO ₄ ²⁻ / kg de suelo seco)	2000-3000	3000-12000	> 12000

Fuente: Prontuario características técnicas de los terrenos y cimentaciones adecuadas a los mismos.

3.3. Características principales de los suelos

3.3.1. Variaciones estratigráficas

La estratificación es el modo como se depositan las rocas sedimentarias de acuerdo al agente y al ambiente sedimentario. Es así que se tienen estratificaciones distintas en los diferentes lugares.

“La estratificación caracteriza a una serie de capas más o menos paralelas denominadas estratos.

Por lo tanto un perfil estratigráfico es el que se realiza a partir de datos de perforaciones, de datos de prospección geofísica (datos indirectos), o bien de cortes naturales o artificiales del terreno que muestran las rocas que conforman la columna estratigráfica, mediante los cuales se puede reconstruir la estratigrafía del subsuelo, acorde con la profundidad que demanda el proyecto.”⁶⁴

Es decir en cada proyecto de construcción se debe realizar una exploración del subsuelo el cual generará un perfil estratigráfico que muestra la representación a

⁶⁴ PASSOTTI, Pierina. ESTRATIGRAFÍA: Subsuelo de Rosario. Universidad Nacional de Rosario. Argentina. p.1.

profundidad de las condiciones en las que se encuentra el suelo y así lograr obtener una caracterización de lo que se tiene que superar al momento de construir la cimentación, teniendo en cuenta los diferentes ensayos a realizar para la determinación de tipo de suelo que presenta una determinada área.

3.3.2. Nivel Freático

En las cimentaciones profundas, uno de los mayores problemas a los que se enfrenta durante el proceso de excavación, es la existencia del Nivel Freático.

“La presencia de agua, en relación a los esfuerzos, produce una disminución de las propiedades y las características resistentes en suelos saturados y también provoca una presión adicional sobre el frente de la excavación. Lo que genera mayores retos y por ende aumento en costos y cuidado ya que esto conlleva a la realización de un estudio hidrológico que contemple el modo de efectuar la extracción del agua. Para ello tendremos que especificar en cada caso el tipo y número de bombas, los caudales máximos, etc.

Para realizar los trabajos de excavación siempre se simplifica al contar con una pantalla perimetral continua en el predio, empotrada en un sustrato impermeable o reduciendo el gradiente hidráulico. Ya creado el recinto perimetral, se procede a extraer el agua mediante Pozos de Bombeo o Well-Point.”⁶⁵

Por lo tanto, para realizar cimentaciones deben buscarse los niveles impermeables donde empotrar los elementos de contención para garantizar que la entrada de agua sea mínima y de fácil extracción.

3.3.3. Resistencia a la compresión simple

Este dato es uno de mayor importancia ya que es determinado con el objetivo de obtener un valor de carga última de suelo. Este ensayo se realiza con el fin de determinar la resistencia o esfuerzo último de un suelo cohesivo a la compresión simple no confinada, mediante la aplicación de una carga axial.

⁶⁵ CONSTRUMÁTICA. Nivel Freático. Construpedia. [En línea]. 25 de marzo de 2019. Disponible en: https://www.construmatica.com/construpedia/Nivel_Fre%C3%A1tico

3.4. Características del suelo en la zona de estudio (THE BAHIA GRAND PANAMA)

3.4.2. Aspectos sísmicos

“Tanto históricamente como en la actualidad, las mediciones de vibraciones sísmicas en nuestro Panamá han sido registradas por la Autoridad del Canal de Panamá, la Universidad de Panamá y la Universidad Tecnológica de Panamá; cada una, con sus propios objetivos específicos.

En la década de los 90 comienza a darse un fenómeno constructivo interesante en la ciudad de Panamá. De manera generalizada, se adopta entre los diseñadores y constructores la estructuración con base en losas de placa plana postensadas, en conjunto con un sistema de muros de cortante y columnas para resistir las cargas laterales impuestas por vientos o sismos. Esto para edificios de más de 30 y 40 pisos de altura.”⁶⁶

Luego de 13 años de implementación de la norma sísmica se han instrumentado en la ciudad de Panamá más de 150 edificios, de los cuales más del 90% se encuentran en Punta Paitilla, **Punta Pacífica**, San Francisco y Costa del Este. Destacando que Ciudad de Panamá es quizás una de las ciudades más densamente instrumentadas con acelerógrafos.

3.4.3. Variaciones estratigráficas

El perfil de suelos de la Ciudad de Panamá, se caracteriza en muchos lugares por tener un estrato rocoso meteorizado relativamente cerca de la superficie. Muchas veces este estrato oscila entre los 12 m a 15 m de profundidad.

Figura 15. Perfil estratigráfico identificando Punta pacífica.



Fuente: Diseño y Construcción de Edificios Altos en Panamá – Ing. Oscar Ramírez

⁶⁶ VARGAS Ramiro. Instrumentación sísmica de edificios en Panamá: Evolución histórica y perspectivas futuras. Universidad Tecnológica de Panamá. Hoy por Hoy. 2012. p.8.

“El correcto funcionamiento del hotel Bahia grand Panama y otras grandes obras construidas en Panamá depende en gran medida de la estabilidad del suelo que la sustenta y de las cargas que la estructura le transmite. Estos factores (estabilidad y fuerzas del suelo) dependen a la vez de las características del fondo marino superficial (lama) o arcillas de Panamá, el cual es un estrato que pertenece al llamo do lecho marino de este lugar.”⁶⁷

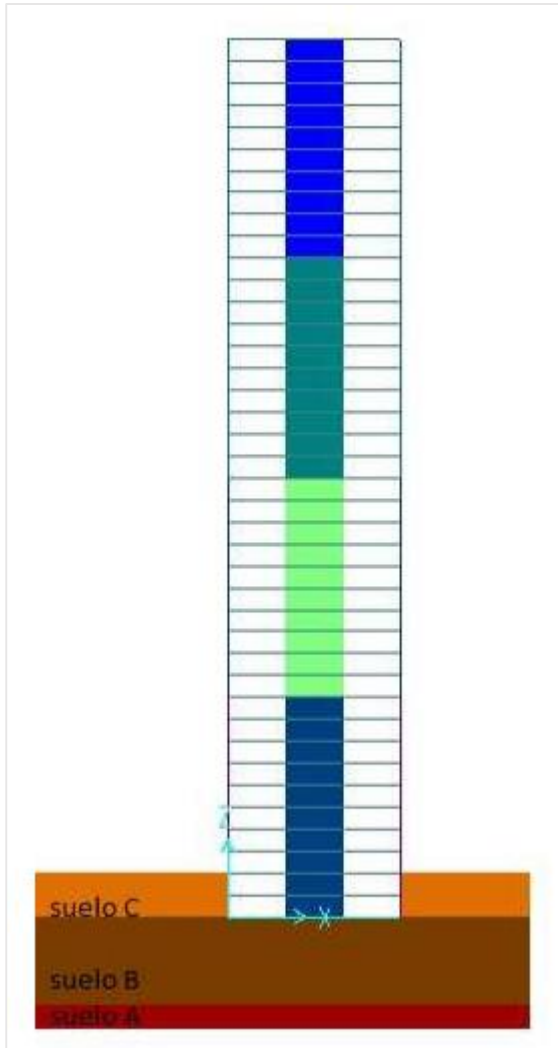


Figura 16. Interacción suelos - estructura (Panamá)

Sin embargo, este procedimiento genera una duda conceptual, referente al perfil de suelo que se debe utilizar en el cálculo de la demanda sísmica. En efecto el perfil de suelo sin el edificio generalmente es C, sin embargo, el edificio está apoyado en roca sana o meteorizada, donde se puede utilizar el perfil de suelo tipo B.

→ Suelo tipo C es un suelo medianamente rígido con una velocidad de onda de 400m/s

→ Suelo tipo B es una roca meteorizada de buena calidad que finalmente se convierte en roca bastante sana, se le asigna una velocidad de onda de 1,130 m/s

→ Suelo tipo A es una roca sana, con una velocidad de onda de 1,800 m/s.

“La lama se encuentra ampliamente distribuida en toda Panamá pero en el lado del Pacífico se extiende desde las cercanías de las esclusas de Miraflores hasta la Bahía de Panamá, registrándose espesores hasta de 14 m que se distribuyen de la siguiente manera:

⁶⁷ MESA, Carlos. Características del suelo marino (lama) en Panamá. En: Revistas académicas UTP, Vol.1 (2002).

Los depósitos de esta arcilla (lama) son uniformemente suaves y débiles. Están compuestos predominantemente por sedimentos del tamaño de limo. Su contenido de agua, en su estado natural es muy alto.”⁶⁸

Se reconocen cuatro (4) fases descritas a continuación (de menor a mayor profundidad):

- I. Arcilla color gris claro a café grisáceo y plástica: La primera fase consiste en una arcilla de consistencia suave que yace sobre la fase pantanosa, orgánica.
- II. Matriz pantanosa color negra con materiales orgánicos: La segunda fase es de granulometría muy fina, mezclados con madera y otras sustancias vegetales semi-descompuestas, intercaladas con suelos finos (limos y arcillas).
- III. Arcilla orgánica, limosa de color negro: La tercera fase depositada en aguas salobres a marinas, contiene abundantes cantidades de conchas.
- IV. Arcilla limosa de color azul a azul grisáceo: La cuarta fase, fase inferior, que se encuentra en contacto con las rocas de formaciones más antiguas.
- V. Roca meteorizada
- VI. Roca sana

“En general, los suelos en Panamá están lavados o lixiviados, son de textura franco arcillosa o de arcilla liviana, con pH ligeramente ácido, bajos contenidos de fósforo y medianos o bajos contenidos de materia orgánica. Son rojos a causa de los sesquióxidos de hierro. Por derivarse de materiales parentales formados en gran medida a partir de rocas sedimentarias y de rocas volcánicas básicas o neutrales, se caracterizan también por altos contenidos de calcio, magnesio potasio. Debido a la textura franco-arcillosa, los suelos de Panamá tienen buen drenaje.”⁶⁹

3.4.4. Nivel de agua freática

La ejecución de la mencionada obra precisó de un sistema de control del agua subterránea, dado que el nivel freático de la zona fue detectado a una profundidad del entorno de 5 a 6 metros aproximadamente.⁷⁰

⁶⁸ MESA, Carlos. Características del suelo marino (lama) en Panamá. En: Revistas académicas UTP, Vol.1 (2002).

⁶⁹ FÁBREGA, Ovidio. Departamento de hidrometeorología. República de Panamá. 1999. p. 18.

⁷⁰ FERRER. Edificio Skyline. Ciudad de Panamá (Panamá). [En línea], 5 de abril de 2019. Disponible en : <https://www.ferrersl.com/noticias/proyectos-servicios/pa40066-panama-edificacion/>

3.4.5. Profundidad del estrato rocoso

Debido a que Panamá es una pequeña placa tectónica (Placa de Panamá) situada entre la placa de Cocos y la placa de Nazca en el sur y la placa del Caribe hacia el norte, la mayor parte de sus límites son bordes convergentes, incluyendo una zona de subducción en el oeste lo que indica que el área de tierra que sobresale del océano cuenta con ciertas características en su suelo.

Principalmente la roca meteorizada se encuentra a una profundidad de 12 m, el cual es una profundidad relativamente baja.

Y ya a unos metros más de profundidad se encuentra el estrato de roca sana a una profundidad aproximada de 20 m.⁷¹

3.5. Características del suelo en la zona de estudio (BD BACATÁ)

3.5.1. Aspectos sísmicos

Las zonas clasificadas como terreno geológico piedemonte suelen tener baja actividad sísmica, y gran diversidad en los horizontes de su suelo debido a la llegada del material desde la montaña.

3.5.2. Variaciones estratigráficas

El subsuelo presenta limos intercalados con coluviones de areniscas hasta profundidades de 50 m y 60 m.

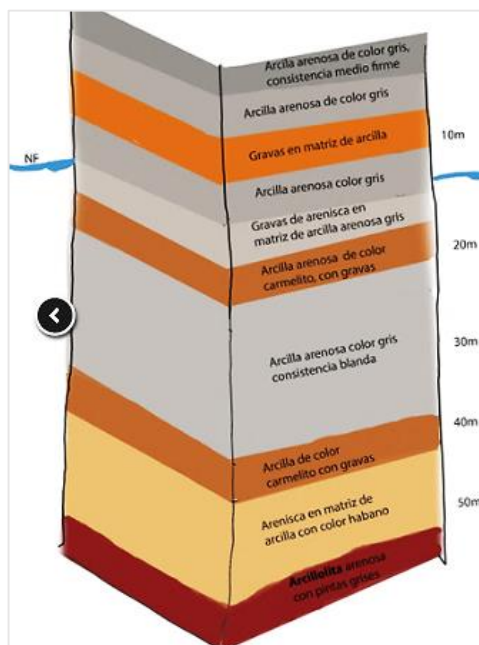
Los suelos encontrados presentan una diversidad de propiedades mecánicas obtenidas a partir de un sondeo de más de 50 m de profundidad donde se encontró:

- 1) Arcilla arenosa gris: Consistencia medio firme
- 2) Arcilla arenosa gris: Consistencia blanda
- 3) Gravas en matriz de arcilla
- 4) Arcilla arenosa gris con gravas de areniscas: Consistencia dura a blanda
- 5) Gravas de arenisca en matriz de arcilla arenosa gris
- 6) Arcilla arenosa de color carmelito con gravas de consistencia dura
- 7) Gravas en matriz

⁷¹ ONU-REDD. Inventario nacional forestal y de carbono. Programa nacional Panamá. Panamá, 2015.

- 8) Arcilla arenosa gris: Consistencia blanda a dura
- 9) Arcilla color habano
- 10) Arcillolita arenosa con pintas grises: a 60 m de profundidad (estrato firme)⁷²

Figura 17. Representación gráfica de la estratigrafía del suelo (zona de estudio en Bogotá)



Fuente: Universidad de los Andes

3.5.2.1. Nivel de agua freático

El agua freática en la zona de estudio se determinó por medio del sondeo de 50 m donde se encontró que está a una profundidad de 12 metros.

3.5.2.2. Profundidad del estrato rocoso

Según el perfil del suelo presente en esta zona de estudio no se encontró estrato rocoso a una profundidad de 60 m, lo que justifica el empleo de pilotaje a esta profundidad, es decir el estrato más profundo del proyecto o al que se van a soportar los pilotes es estrato de arcillolita arenosa con pintas grises encontrado a 60 m. (Ver anexo B)

⁷² FLORES, Valeria. Análisis constructivo del BD Bacatá, Bogotá Colombia. Universidad de los Andes. [En línea], 23 de marzo de 2019. Disponible en: <http://portfolios.uniandes.edu.co/gallery/25155015/ARQU-2330-Sistemas-de-Construccion-y-Estimacion>

4. METODOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS UTILIZADAS EN CIMENTACIONES

4.1. Introducción

“La selección apropiada del tipo de cimentación profunda es una de las decisiones más importantes y es preferible hacerla con base en la experiencia previa en suelos similares. Las ventajas y desventajas de diversos procedimientos constructivos pueden afectar la selección del tipo de cimentación para cualquier proyecto. La selección del tipo de cimentación profunda depende principalmente de los factores geológicos y condiciones del suelo (Descritos en el capítulo previo), factores históricos locales y costumbres de construcción locales.”⁷³

Por este motivo el presente capítulo proporciona un recorrido por las principales características que se tuvieron en cuenta durante la construcción de la cimentación de cada uno de los proyectos tratados en este trabajo, como lo son el tipo de cimentación y la descripción de esta, con el objetivo de reconstruir las metodologías utilizadas como por ejemplo la identificación de la normatividad con la que se rigieron tales proyectos y el tipos de maquinaria empleado durante las diferentes actividades necesarias para la construcción de estas fundaciones.

4.2. Aspectos generales para la selección de una cimentación

Como ya conoce el objetivo principal de una cimentación es transmitir las cargas de la estructura a los estratos resistentes del suelo, de tal manera que sea estable y que los asentamientos sean permisibles de acuerdo a las normas que rigen el sitio de construcción.

Cada proyecto debe contar con un ingeniero Geotecnista el cual debe tener ciertos factores en los que se basará la selección del tipo de cimentación a diseñar para el proyecto. Estos factores esencialmente son los siguientes:

Cargas:

“Para el diseño de la cimentación de cualquier construcción se deberán efectuar análisis que involucren el efecto de las acciones permanentes (incluyendo el peso propio), variables (incluyendo la carga viva) y accidentales (incluyendo el sismo y viento). Una vez conocido estas acciones, es necesario saber su distribución y los esfuerzos aplicados al suelo.”⁷⁴

⁷³ PANIAGUA, Walter. Sobre el Procedimiento Constructivo de Pilas de Cimentación. PILOTEC. 2017. 1 p.

⁷⁴ COYOLT, Carlos. ¿Qué factores determinan la elección del tipo de cimentación? Ingeniería GCE: Blog en Geotecnia, Construcción y Estructura. 2015.

Suelo

“El estudio del suelo sobre el que se desplantara la construcción deberá proveernos de información acerca de las propiedades índices, mecánicas e hidráulicas del subsuelo. Estos estudios servirán de base para la correcta selección de los estratos de apoyo y de los elementos que transmitirán las cargas al subsuelo.”⁷⁵

Técnica y economía

“Al ser elegido un tipo de cimentación, es necesario definir el procedimiento de construcción, cuyas características deberán ahorrarnos en gran medida tiempo y dinero, respetando las especificaciones geotécnicas y estructurales, preservando constantemente la calidad de los elementos de cimentación.”⁷⁶

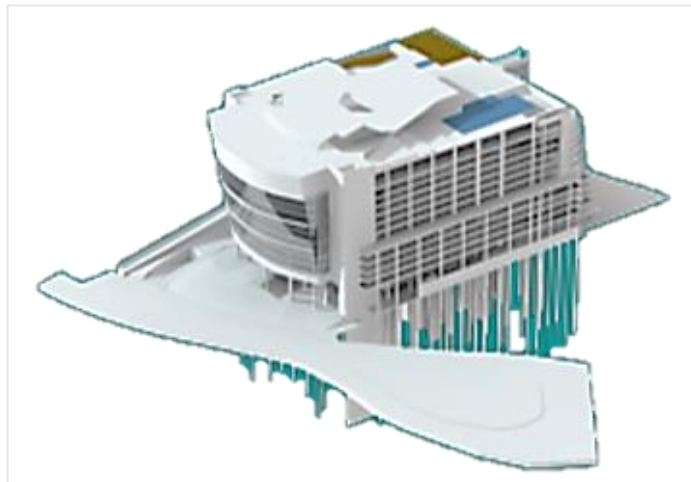
4.4. CIMENTACIÓN DEL PROYECTO THE BAHÍA GRAND PANAMA

4.4.1. Clase de cimentación construida

Ya que la roca se encontró a una profundidad no muy grande la cimentación empleada para el respectivo levantamiento de la estructura fue un sencillo sistema de pilas de concreto con sistema por punta y celdas de Osterberg.

Se identifican una cimentación profunda por el empleo de pilas. Añadiendo la losa sobre el suelo que genera una distribución de cargas uniforme pero que no cuenta como parte estructural de la cimentación.

Figura 18. Cimentación (Pódium + pilas)



Fuente: Diseño y Construcción de Edificios Altos en Panamá – Ing. Oscar Ramírez

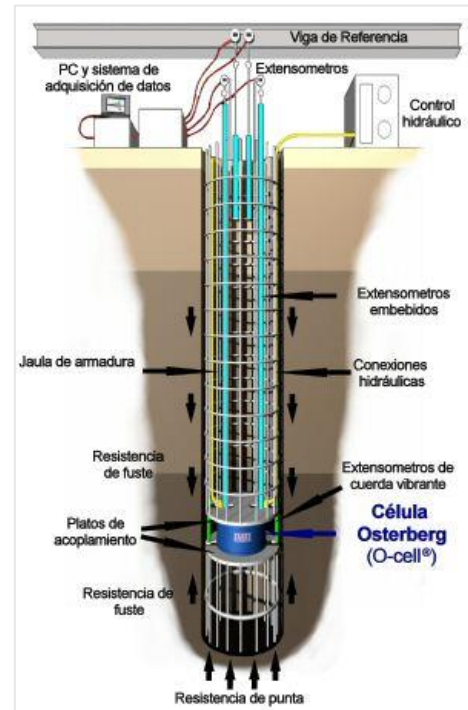
⁷⁵ COYOLT, Carlos. ¿Qué factores determinan la elección del tipo de cimentación? Ingeniería GCE: Blog en Geotecnia, Construcción y Estructura. 2015.

⁷⁶ Ibid.

Figura 19. Tecnología con celdas Osterberg

Las celdas Osterberg “son un método que utiliza una prensa hidráulica para realizar pruebas de carga en pilotes y pantallas de alta capacidad. El método fue perfeccionado a lo largo del tiempo por la empresa Loadtest de los Estados Unidos.”⁷⁷

La prensa hidráulica de Osterberg forma parte integral del pilote o elemento de cimentación una vez curado el hormigón. Por lo general la prensa es ubicada cerca de la base de la estructura bajo estudio.



Fuente: LOADTEST

Figura 20. Celda Osterberg en pilote de Panamá



Fuente: Diseño y Construcción de Edificios Altos en Panamá – Ing. Oscar Ramírez.

⁷⁷ SCANROCK. Nociones básicas sobre el método de Osterberg para pruebas de carga estáticas. Alemania. [En línea] 5 de abril de 2019. Disponible en: http://www.scanrock.de/paginas/pruebas_de_carga/pruebas_de_carga.html

4.4.1.1. Descripción

La estructura cuenta con un pódium que se muestra en la figura 15 y 16 (Parte inferior en forma de dado), donde se encuentran los 10 niveles de estacionamientos que no fueron construidos subterráneos debido a la poca profundidad en la que está la roca firme y la dificultad que habría para perforar y extraer dicho material, además del aumento de costos debido a las actividades que se tendrían que realizar como bombeos de agua por el nivel freático y explosiones para triturar y extraer la roca.

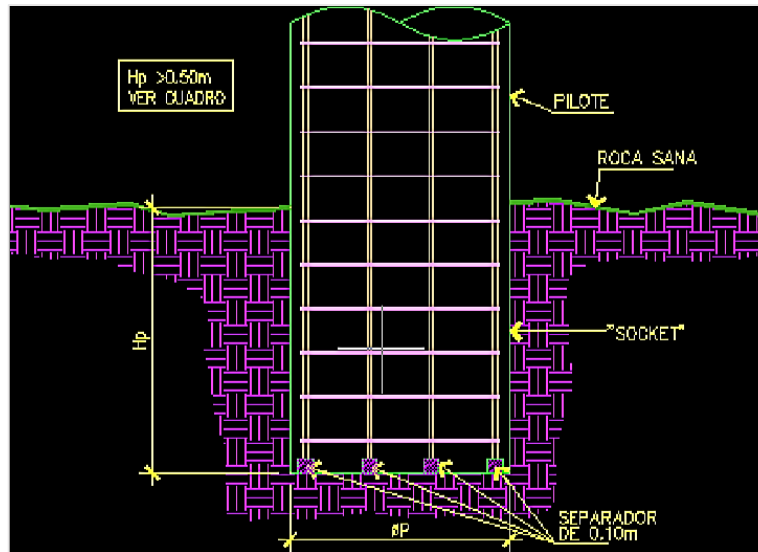
La cimentación construida por pilas de gran diámetro fueron incrustadas a una profundidad de 1.5 m dentro de la roca sana encontrada con el objetivo de asegurar la estabilidad de la estructura, aprovechando las condiciones geológicas que presenta esta zona de Panamá.

Figura 21. Cimentación + Curvas de Amarre de Núcleo a Mástil



Fuente: Diseño y Construcción de Edificios Altos en Panamá – Ing. Oscar Ramírez

Figura 22. Apoyo típico pilote - Roca



Fuente: Diseño y Construcción de Edificios Altos en Panamá – Ing. Oscar Ramírez

4.4.2. Generalidades constructivas

El proyecto se compone de la cimentación y sobre esta se eleva la estructura el cual está compuesto inicialmente por una estructura de 10 pisos que conforman los estacionamientos y de allí ya se despliega el resto de la edificación el cual es en sí el hotel y las instalaciones (Ver anexo D).

4.4.2.1. Cargas

La cimentación debe soportar un peso total de la estructura de 255.000 tonf a 272.000 tonf.

4.4.2.2. Área ocupada

El área ocupada por la cimentación fue de aproximadamente 7000 metros cuadrados (7000 m²).

El área total construida tuvo un estimado de 260.000 metros cuadrados (260.000 m²).

4.4.2.3. Duración de la obra

El proyecto completo tuvo una duración de 4 años aproximadamente, iniciando en el año 2007 con estudios geotécnicos y determinación del área hasta la finalización de la construcción del proyecto en el año 2011.

4.5.3. Maquinaria empleada en la construcción de la cimentación

Se emplearon maquinas piloteadoras para el proceso estructural de la cimentación entre otras mencionadas a continuación:

Figura 23. Perforadora de barreno helicoidal utilizada en el Bahía Grand Panama



Fuente: idc, Ingeniero de caminos.

- ✓ Retroexcavadora
- ✓ Excavadoras
- ✓ Volquetas de diferentes capacidades
- ✓ Piloteadoras de barreno continuo
- ✓ Mezcladoras
- ✓ Carro tanque de agua

4.4.4. Dimensiones

Los pilotes presentan:

Diámetros de 1.5 metros a 2 metros

Profundidades de hasta 22 metros desde el nivel del suelo o arcilla encontrada dependiendo de la carga llegada en cada área de pilotaje o pilote.

4.4.5. Cantidad

La cimentación está compuesta por 114 pilas, distribuidas uniformemente ya que la placa busca distribuir el peso de la estructura en los pilotes de la forma más uniformemente posible para tener asentamientos muy pequeños.

4.4.6. Materiales y cantidades

A continuación se muestra el tipo de concreto que se utilizó para la construcción de las fases de la cimentación.

- ✓ Para las pilas se utilizó concreto de 5000 PSI y 8000 PSI.⁷⁸

La cantidad de concreto y acero son las indicadas a continuación:

- ✓ Volumen de concreto u hormigón = 6500 m³
- ✓ Acero reforzado = 450 toneladas

4.4.7. Normatividad

Para la construcción de la cimentación del Bahía Grand Panama se tuvieron en cuenta los siguientes códigos y reglamentos:

GENERALES

- ✓ SEAOC - Structural Engineers Association of California (Asociación de Ingenieros Estructurales de California)
- ✓ ASCE-7 - American Society of Civil Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles): Proporciona las cargas de diseño mínimas y todos los criterios asociados para edificios y otras estructuras
- ✓ ASCE 20-96: Pautas Estándares para el Diseño e Instalación de cimientos de pilotes
- ✓ ACI - American Concrete Institute (Instituto americano del concreto)

⁷⁸ RAMIREZ, Oscar. Diseño y Construcción de Edificios Altos en Panamá. México D.F, (2015).

Son las autoridades líderes mundiales en el manejo y práctica del concreto.

- ✓ AISC - American Institute of Steel Construction (Instituto Americano de Construcción de Acero) /
- ✓ AWS - American Welding Society (Sociedad Americana de Soldadura)
- ✓ ASTM - American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales)

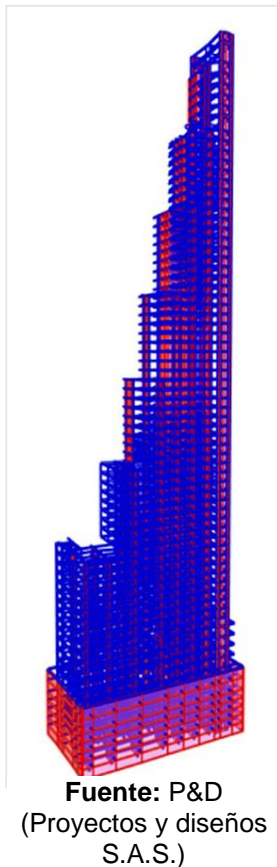
NACIONALES

- ✓ REP - Reglamento Estructural Panameño (ver Anexo C)
- ✓ REP-84, REP-94, REP-04, REP-2014

4.5. CIMENTACIÓN DEL PROYECTO BD BACATÁ

4.5.1. Clase de cimentación construida

Figura 24. Modelo BD Bacatá.



El proyecto está compuesto por una plataforma de 7 niveles subterráneos de donde se elevan dos torres de concreto de gran altura. La estructura se cimenta sobre pilotes de concreto con sistema de construcción por punta fundidos in situ.

Pilotes de la edificación (93 pilotes)

Pilotes constructivos (58 pilotes)

La estructura, además de los pilotes, se compone de una placa en dos direcciones con vigas principales con profundidades de 1,5 m, nervios secundarios de 1 m de altura en ambas direcciones y una losa de 30 centímetros de espesor. Toda esta estructura es capaz de resistir la subpresión correspondiente a los cálculos geotécnicos.

“La mayor parte de los edificios en altura localizados en la zona del llamado Centro Internacional de Bogotá, como por ejemplo la torre Colpatria y el edificio Avianca fueron cimentados mediante Caisson, el cual fue la recomendación inicial del estudio geotécnico realizado para el BD Bacatá, compuestas inicialmente por pilas acampadas a una profundidad de 30 metros bajo la placa de contrapiso (último sótano del proyecto).

Figura 25. Elaboración de la armadura de pilote



Fuente: Catalina Salazar – Mega estructura BD Bacatá

Los estudios finales confirmaron la dificultad de atravesar los diferentes estratos de suelo conformados por bolos de piedra o cantos rodados manualmente.

El uso de explosivos, los riesgos, la estabilidad de las construcciones vecinas, el costo y el tiempo requerido, hicieron necesario la búsqueda de otra alternativa para la cimentación del proyecto, el cual fueron los pilotes profundos.”⁷⁹

4.5.1.1. Descripción

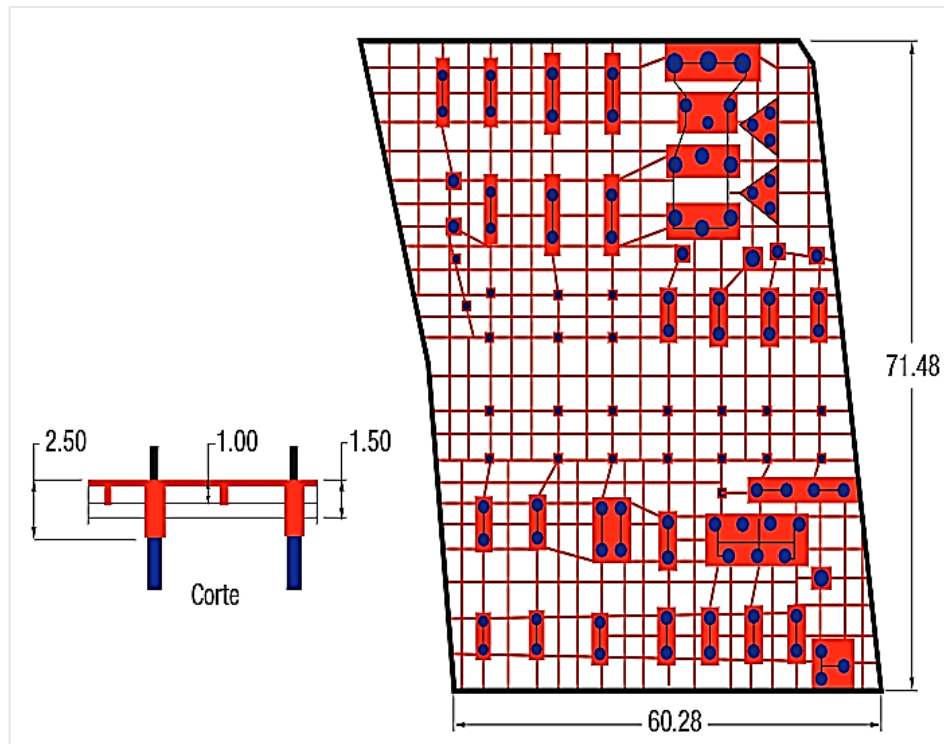
Utilización de pilas cilíndricas excavadas mediante el uso de máquinas de gran envergadura, con diámetros de 2 metros para las columnas de las torres y diámetros menores para cargas inferiores provenientes de la plataforma comercial.

“Se recomendó el diseño de una placa de concreto a nivel del séptimo sótano capaz de soportar los esfuerzos hidrostáticos generados por el nivel freático. Esta carga se estimó en 10 ton/m², valor concordante con la diferencia entre la cota de excavación del último sótano (22 metros) y la cota de nivel freático encontrado.”⁸⁰

⁷⁹ PEREZ, Alejandro. NOTICRETO. BD Bacatá: Diseñando la cimentación del edificio más alto de Colombia. Edición 118. 2013. p. 32.

⁸⁰ ibíd., p. 32.

Figura 26. Planta y sección transversal de la cimentación



Fuente: Noticreto

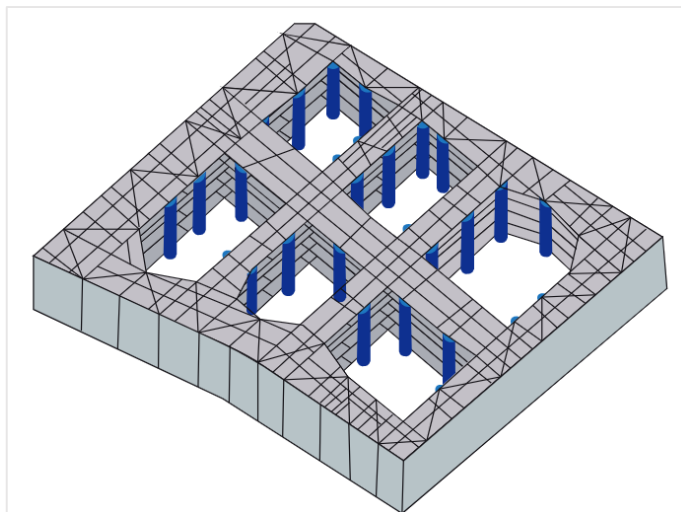
4.5.2. Generalidades constructivas

Estructuras de contención

La profundidad de la excavación, 22 metros desde el nivel de la calle, para dar cabida a los siete niveles principalmente de parqueo, hicieron que las estructuras proyectadas para la contención de la excavación y la estabilidad de los vecinos tomen una importancia prioritaria dentro del proyecto.

Contempla la construcción de muros de contención utilizando una estructura desde el mismo interior del lote para darle soporte horizontal al muro en la medida que avanza la excavación.

Figura 27. Anillos de estabilización de empujes horizontales durante la excavación.



Fuente: Noticreto

Figura 28. Construcción de los anillos de estabilización de empujes horizontales



Fuente: Contecon Urbar

4.5.2.1. Cargas

La cimentación debe soportar un peso total de la estructura de 112.000 tonf a 120.000 tonf.⁸¹

⁸¹ ARGOS. TORRES BD BACATÁ: Cundinamarca, Santafé de Bogotá, Colombia. Obras. Disponible en: <http://bibliotecadeobras.argos.com.co/Works/Internal/197>

4.5.2.2. Área ocupada

El área perimetral ocupada por la cimentación fue de aproximadamente 5000 metros cuadrados (5000 m²).

El área total construida tuvo un estimado de 115.000 metros cuadrados (115.000 m²)

4.5.2.2. Duración de la obra

El proyecto completo tuvo una duración de 3 años, iniciando con la demolición del antiguo hotel Bacatá en abril de 2011 y finalizando con la construcción del piso 51 al 66 en el segundo semestre del año 2014

La cimentación de la obra dio inicio con la fundición de pantallas y finalizó con la construcción de los pilotes desde el 8 de noviembre de 2011 hasta septiembre de 2013.

4.5.3. Maquinaria empleada en la construcción de la cimentación

Se emplearon maquinas pantalladoras y piloteadoras para el proceso estructural de la cimentación entre otras mencionadas a continuación:

- ✓ Bobcats
- ✓ Almejas
- ✓ Excavadoras de brazo ultra – largo
- ✓ Maquina Pantalladora
- ✓ Volquetas de diferentes capacidades
- ✓ Piloteadoras

Fue necesario modificar las brocas, incluyendo dientes de tungsteno para hacerlas mucho más resistentes y capaces de realizar la excavación de los 161 pilotes con diámetros entre los 90 cm y 2,5 metros y más de 60 metros de profundidad.

- ✓ Retroexcavadoras
- ✓ Mezcladoras

Figura 29. Construcción de los sótanos.



Fuente: Catalina Salazar – Megaestructura BD Bacatá

4.5.4. Dimensiones

Los pilotes presentan:

Diámetros entre 1.50 y 2.60 metros.

Profundidades de 58 a 60 metros desde el nivel de la calle.

4.5.5. Cantidad

La cimentación está compuesta por 151 pilotes divididos de la manera siguiente:

- ✓ Pilotes de la edificación (93 pilotes)
- ✓ Pilotes constructivos (58 pilotes)

4.4.6. Materiales y cantidades

A continuación se muestra el tipo de concreto que se utilizó para la construcción de las fases de la cimentación.

- ✓ Para los pilotes y las pantallas se utilizó concreto Tremie de 4500 PSI.
- ✓ Para las placas y el resto de la cimentación se emplearon concretos de 6000 a 8000 PSI.⁸²

La cantidad de concreto y acero son las indicadas a continuación:

- ✓ Volumen de concreto u hormigón = 15.000 m³
- ✓ Acero reforzado = 1030 toneladas

4.4.7. Normatividad

GENERALES

- ✓ ACI - American Concrete Institute (Instituto americano del concreto)
Son las autoridades líderes mundiales en el manejo y práctica del concreto.
- ✓ AISC - American Institute of Steel Construction (Instituto Americano de Construcción de Acero) /
- ✓ ASTM - American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales)

NACIONALES

- ✓ NSR 10 – Norma Sismo Resistente 2010
- ✓ NSR 10 (Título H) – Estudios Geotécnicos

⁸² ARGOS. TORRES BD BACATÁ: Cundinamarca, Santafé de Bogotá, Colombia. Obras. Disponible en: <http://bibliotecadeobras.argos.com.co/Works/Internal/197>

5. MATRIZ COMPARATIVA

		BAHIA GRAND PANAMA	BD BACATÁ	
DESCRIPCIÓN		Una torre - Altura: 284 m	Altura (Torre 1): 220 m	Altura (Torre 2):170 m
		Plantas: 70	Platas: 68	Plantas: 56
CARACTERISTICAS GENERALES Y CONDICIONES ATMOSFÉRICAS	CLIMA	Tropical	Moderadamente frío	
	TEMPERATURA	24°C - 32°C	10°C - 19°C	
	PRESIÓN ATMOSFERICA	1012 hPa a una temperatura de 26°C	746.60 hPa - Promedio	
		1009 hPa a una temperatura de 30°C		
	VIENTOS	Llega del Caribe: 140 Km/h	80 Km/h - 100 Km/h	
		Salen del Pacífico: 115 Km/h		
	HUMEDAD ATMOSFERICA	La humedad percibida en Panamá, es bochornosa y opresiva, no varía considerablemente durante el año, y permanece entre el 1 % del 99 %	La humedad aproximada está cerca al 80%, pero permanece casi constante en 0% del 80%	
	HUMEDAD DEL SUELO	Humedad Relativa del suelo (%) promedio = 68.67%	La humedad relativa oscila entre 65% y 135%	
PRECIPITACIÓN		La precipitación varía entre 11 mm a 291 mm	Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en Bogotá varía muy considerablemente durante el año.	
NIVEL DE SALINIDAD		Alto grado: Debido a que su mayor área está rodeada por mar, por el sur este colinda con el océano pacífico y por el norte con el mar caribe	Bajo a muy bajo grado	

Continuación de tabla

TIPOLOGÍA DE SUELO EN LAS ÁREAS AFECTADAS	VARIACIÓN ESTRATIGRÁFICA	Arcilla de consistencia suave, Matriz pantanosa con material orgánico, Arcilla orgánica limosa con aguas salobres, Arcilla limosa azul grisácea, Roca meteorizada y sana	Arcilla arenosa de consistencia media, arcilla arenosa blanda, gravas en matriz de arcilla, arcilla de consistencia dura, gravas de arenisca, arcilla arenosa, gravas en matriz, Arcilla consistencia blanda a dura y arcillolita arenosa
	NIVEL DE AGUA FREÁTICA	El nivel freático de la zona fue detectado a una profundidad del entorno de 5 m a 6 m	Por medio de un sondeo de 50 m se encontró que el nivel freático está a una profundidad de 12 m
	ESTRATO FIRME	A una profundidad de 20 m se encontró roca sana	El estrato más profundo es un estrato de arcillolita arenosa con pintas grises (roca compacta) encontrado a 60 m
METODOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS UTILIZADAS EN CIMENTACIONES	CLASE DE CIMENTACIÓN	Sencillo sistema de pilas de concreto con sistema por punta y celdas de Osterberg.	La estructura se cimienta sobre pilotes de concreto con sistema de construcción por punta fundidos in situ, una placa en dos direcciones con vigas principales y nervios secundarios de 1 m de altura en ambas direcciones y una losa de 30 centímetros de espesor.
	DIMENSIONES	Pilas con diámetros de 60 in (1.5 m) y 78 in (2 m) y profundidad de hasta 22 m	Pilotes con diámetros entre 1.50 y 2.60 metros y Profundidades de 58 a 60 m
	CANTIDAD	114 pilas, distribuidas uniformemente para distribuir la carga de la forma más uniforme	La cimentación está compuesta por 151 pilotes
			Pilotes de la edificación (93 pilotes) Pilotes constructivos (58 pilotes)
	MATERIALES	Concreto de 5000 PSI y 8000 PSI	Concreto Tremie de 4500 PSI - Pilotes Concretos de 6000 a 8000 PSI - Placas y demás
		Volumen de hormigón = 6500 m3 Acero reforzado = 450 toneladas	Volumen de concreto u hormigón = 15.000 m3 Acero reforzado = 1030 toneladas

Continuación de tabla

METODOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS UTILIZADAS EN CIMENTACIONES	DESCRIPCIÓN	La estructura cuenta con un pódium (parte inferior en forma de dado), donde se encuentran los 10 niveles de estacionamientos	La estructura está compuestas por una plataforma de 7 niveles subterráneos de donde se elevan dos torres de concreto de gran altura.
	CARGAS	La cimentación debe soportar un peso total de la estructura entre 255.000 tonf y 272.000 tonf	La cimentación debe soportar un peso total ente 112.000 tonf y 120.000 tonf.
	ÁREA OCUPADA	El área perimetral: 7000 m2 aprox.	El área perimetral: 5000 m2
		El área total construida: 260.000 m2	El área total construida: 115.000 m2
	DURACIÓN DE LA OBRA	El proyecto completo tuvo una duración de 4 años aproximadamente, iniciando en el año 2007 hasta la finalización de la construcción en el año 2011	El proyecto completo tuvo una duración de 3 años, iniciando con la demolición del antiguo hotel Bacatá en abril de 2011 y finalizando con la construcción del piso 51 al 66 en el segundo semestre del año 2014
	MAQUINARIA	Retroexcavadora, excavadoras, volquetas de diferentes capacidades, Piloteadoras de barreno continuo, mezcladoras, Carro tanque de agua	Bobcats, almejas, excavadoras de brazo ultra – largo, maquina Pantalladora, Volquetas de diferentes capacidades, grandes piloteadoras, mezcladoras, retroexcavadora.
	NORMATIVIDAD	SEAOC - Structural Engineers Association of California	ACI - American Concrete Institute (Instituto americano del concreto)
		NEHRP - (Programa Nacional de Reducción de Riesgos de Terremotos)	ASTM - American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales)
		ASCE 20-96: (American Society of Civil Engineers), Pautas para el diseño e Instalación de pilotes	AISC - American Institute of Steel Construction (Instituto Americano de Construcción de Acero) /
		ACI - American Concrete Institute (Instituto americano del concreto)	NSR 10 – Norma Sismo Resistente 2010
		REP - Reglamento Estructural Panameño (ver Anexo C)	NSR 10 (Título H) – Estudios Geotécnicos

6. TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

La transferencia tecnológica está definida como “el proceso por el cual se lleva a cabo la transmisión del saber hacer, de conocimientos científicos y/o tecnológicos y de tecnología de una organización a otra.”⁸³ De acuerdo a lo establecido anteriormente la transferencia tecnológica que presenta este trabajo es de carácter conceptual e investigativo.

Gracias a la visita técnica internacional a Panamá se tomó un tema de investigación y se vino a exponer más relevantemente en Colombia, debido a que la tecnología empleada en Panamá, observada durante la visita no fue de relevancia o muy diferente a la utilizada en Colombia. Por este motivo se optó por identificar una característica que hace a Panamá reconocida, además del Canal, y son las edificaciones en altura, que de acuerdo con la justificación del presente trabajo fueron de carácter investigativo debido a la exclusión de estacionamientos subterráneos el cual en Colombia si se tienen.

De acuerdo a lo dicho anteriormente la transferencia tecnológica se evidencia durante y posterior a la realización del trabajo, debido a los hallazgos encontrados durante la investigación.

Desde el punto de vista de las cimentaciones, se encontró que los pilotes de gran diámetro o pilas se emplean en las edificaciones de ambas zonas de estudio, pero se evidenció un factor de carácter tecnológico que se empleó en la cimentación del Bahia Grand Panama y no en la del BD Bacatá. Esta tecnología fueron las CELDAS OSTERBERG. Que a pesar de no haber sido identificada esta tecnología antes de la realización del trabajo se toma como transferencia tecnológica investigada y desarrollada durante el trabajo.

Las celdas Osterberg o celdas de carga son un método que hace parte integral del pilote una vez está curado el hormigón, y su función es realizar pruebas de carga para adelantarse e identificar las cargas a las que los elementos de cimentación estarán sometidos y si serán capaces de soportar, mencionado más a fondo en la descripción de la cimentación del Bahia Grand Panama del presente documento (Pág. 71).

Un método costoso pero funcional que se podría emplear en Colombia o más específicamente en Bogotá debido a que las condiciones del suelo son muy difíciles de trabajar y es de gran interés seguir construyendo edificaciones en altura para mejorar la imagen y economía de la ciudad.

⁸³ CÁMARAS ARAGÓN. Transferencia de tecnología. [En línea], 14 de mayo de 2019. Disponible en: http://www.camarasaragon.com/innovacion/docs/0502_PropiedadTransferenciaTecnologia.pdf

Presentación de ponencia en la Universidad Konrad Lorenz (Ver anexo G)

Durante la presentación de la ponencia fue mencionada esta tecnología por medio de un poster (Ver anexo F), sustentando el comparativo correspondiente al presente trabajo, el cual se toma como un tipo de transferencia tecnológica al darse a conocerse, las metodologías que se emplearon en la construcción de la cimentación de un rascacielos en otro país. A demás de los conocimientos y la calidad de profesionales con los que cuenta Panamá y su diversidad de diseños y construcciones en altura de su autoría.

Por medio de este comparativo y la contextualización sobre las celdas Osterberg empleadas en los pilotes de la edificación en Panamá, se dieron a conocer las posibilidades que hay de emplearlas en las diferentes cimentaciones planeadas para las edificaciones de gran altura aquí en Bogotá.

7. CONCLUSIONES

- ✓ Los estacionamientos en la mayoría de edificaciones en altura en Panamá están ubicados sobre el suelo. Esto se netamente a las condiciones que se encuentran en los estudios de suelo es tal zona. Panamá es una República que presenta su estrato firme relativamente cerca a la superficie, aproximadamente a los 20 m de profundidad. Es por este motivo que los estacionamientos no son comunes construirlos subterráneos y más aún cuando son parte de un rascacielos.
- ✓ En Bogotá la mayoría de edificaciones ya sean de poca altura o de gran altura presentan sus estacionamientos ubicados bajo el suelo o subterráneos, ya que las condiciones del suelo lo permiten y es necesario aprovecharlo como sustento de la misma edificación. La roca se encuentra a una gran profundidad (60 m) lo que genera facilidad para construir los estacionamientos subterráneos y aprovechamiento de espacio debido a que el área perimetral donde se construyó dicha estructura no es muy alta.
- ✓ En la tecnología vista en Panamá no se tomó como relevante, en comparación con la de Colombia, debido a que también se han empleado diversas tecnologías en los contados rascacielos que se aprecian en Bogotá, donde, para su construcción se debieron emplear maquinarias de gran capacidad y materiales de excelente calidad que no se obtienen ni fabrican en el mismo país, punto que es igual en las construcciones de Panamá. Varios de los elementos utilizados provienen de otros países, excepto la experiencia con que construyen allí. En este país hay alta calidad de profesionales especializados en estructuras de altura en el mismo.
- ✓ La normatividad empleada en la construcción de la cimentación en cada una de las estructuras es muy similar, ya que son normas americanas que aplican para los dos países. Solo se diferencian en una reglamentación, las estructurales, que son la REP 2014 para Panamá y la NSR 10 para Colombia, normativa que debe ser cumplida a cabalidad por el determinado país.
- ✓ La transferencia tecnológica no fue muy relevante durante la investigación ya que por medio de las diferencias y similitudes encontradas, se da para analizar que la cimentación en Panamá a simple vista se supone más compleja que en Bogotá, ya sea porque el Bahia Grand Panama está ubicado muy cerca a la orilla del mar y está expuesto a variedad de agentes agresivos que pueden complicar más la cimentación, así como la fuerza con la que llega el viento. Pero al final de la compilación de información se da a entender que en Bogotá es más complicado construir un rascacielos, ya que el área no cuenta con un estrato firme tan cerca a la superficie, existe nivel freático, y por ende el diseño de la cimentación será mucho más complejo y de mayor tamaño.
- ✓ A pesar de que las dos estructuras tienen una altura similar, la cimentación del BD Bacatá es mucho más grande, compleja y costosa, debido a la gran cantidad de material y mano de obra que se debió emplear para la ejecución

de la misma, la adquisición de grandes piloteadoras y la calidad de los materiales son los principales factores que hacen esta cimentación la más costosa e importante.

- ✓ La etapa de cimentación y construcción de los sótanos es la más larga y la que debe ser realizada con el mayor cuidado ya que ésta soportará toda la estructura.
- ✓ Siempre se deben analizar diferentes propuestas de cimentación para una estructura, teniendo muy en cuenta aspectos sociales, técnicos y económicos para conseguir el mejor diseño, la mejor estabilidad y bienestar, tanto para las personas y construcciones vecinas como para la misma edificación.

8. RECOMENDACIONES

- ✓ Es recomendable hacer comparativos al momento de diseñar cualquier estructura, en este caso se debería tener en cuenta históricos de diferentes edificaciones que ya estén construidas y tener en cuenta los criterios con los que pudieron ser elaborados para las futuras edificaciones a realizar. Reconociendo las etapas de diseño que pudieron realizarse tanto en edificaciones en el área o aledañas como de otros lugares.
- ✓ Se recomienda estudiar más el método de celdas Osterberg con el objetivo de reconocer si es factible su implementación de acuerdo a las dimensiones o tipo de pilotes a utilizar en las diferentes cimentaciones a realizar en Bogotá para edificios de gran altura y así lograr reducir costos ya que se sabría que carga es la máxima que podrían resistir dichos pilotes gracias a estas celdas o si saldría más costoso y menos factible su implementación y dejar la idea a un lado. Pero no dejar esta opción por fuera de las alternativas de diseño y factibilidad de este tipo de proyectos.
- ✓ Hacer este tipo de comparativos nos dan una idea de cómo estamos en el ámbito tecnológico en el país, ya que al tener en cuenta los diferentes factores que afectan una estructura hacen analizar si esta presenta más o menos dificultad para su construcción y así tener una idea de si lo que se va a realizar saldrá bien con respecto a los diferentes factores que la rodean ya que podrían ser más agresivos o críticos como en Panamá- agresivos y en Bogotá críticos o difíciles de manejar.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ✓ RAMIREZ, Oscar. Diseño y Construcción de Edificios Altos en Panamá. México D.F, (2015).
- ✓ CAICEDO, Bernardo. Behavior of diatomaceous soil in lacustrine deposits of Bogotá, Colombia, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol. 10 (2018)
- ✓ ELLMAN, Roderic. Bored pile foundations in offshore conditions, Prensa CRC. (2009)
- ✓ CARDONA, Andrés Octavio. Panamá es la ciudad con mayor cantidad de rascacielos construidos en América Latina. La República [En línea], (2018). Disponible en Internet: <https://www.larepublica.co/infraestructura/cuales-son-los-edificios-mas-altos-de-america-latina-2722020>.
- ✓ Casadiego-Quintero, E., & Monroy, E. R. 2016. Aprendizaje por competencias en la ingeniería civil: aplicada a la reducción del consumo de agua en el área rural. Recuperado de: <http://bit.ly/2ur3jr8>.
- ✓ LOPEZ RUIZ, Álvaro. Cimentaciones actuales de los rascacielos de Chicago. Informes de la construcción. Vol. 25 (1972)
- ✓ MESA, Carlos. Características del suelo marino (lana) en Panamá. En: Revistas académicas UTP, Vol.,1 (2002), <http://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/119/html>
- ✓ JUANG, Hsein. MOON, Vicky. WASOWSKY, Janusz. Geological and geotechnical characterisation for offshore wind turbine foundations: A case study of the Sheringham Shoal wind farm. Engineering Geology. Vol. 177 (2014)
- ✓ GOBIERNO DE LA REPUBLICA DE PANAMÁ, Autoridad de turismo de Panamá, Información de la ATP (2018). <http://www.atp.gob.pa/informacion-general-sobre-panama>.
- ✓ MINISTERIO DE EDUCACIÓN, Educa Panamá, mi portal educativo, El suelo, <http://educapanama.edu.pa/?q=articulos-educativos/el-suelo>
- ✓ Atlas de Suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea.
- ✓ Yepes, Piqueras, Víctor. Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención, Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2016. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliocaticasp/detail.action?docID=4508090>.

- ✓ BORGOEING, Jean Pierre. Geomorphology of Central America: Geomorphological Characteristics of Panama. 1st Edition. Costa Rica, El sevier. (2015)
- ✓ Redacción de La Prensa. El Trump ahora es Bahía Grand Panamá. La Prensa/ Economía [En línea], 28 de octubre de 2018. Disponible en Internet: https://impresa.prensa.com/economia/Trump-ahora-Bahia-Grand-Panama_0_4981001904.html
- ✓ ABAA (ALONSO BALAGUER ARQUITECTES ASSOCIATS). Torre Bacatá Bogotá. ABBA [en línea]. 27 de octubre de 2018. Disponible en Internet: <http://www.alonsobalaguer.com/proyectos/31-obra-curso/32-bacataaa>
- ✓ CIMENTEC S.A , <http://www.cimentec.com.pa/proyectos/>
- ✓ P&D (Proyectos y Diseños S.A.S). Torre Bacatá Bogotá. P&D [En línea], 25 de octubre de 2018. Disponible en internet : <https://pyd.com.co/project/edificio-sigma/>
- ✓ Arias Serna Saravia. Hotel Trump Ocean Club (The Bahia Gran Panama). [En línea], 25 de octubre de 2018. Disponible en internet: <http://www.ariassernasaravia.com.co/projects/3>
- ✓ BERNAL. María. Propuesta de mejora aplicada a los procesos constructivos empleados para la construcción de rascacielos en la ciudad de Bogotá a partir del análisis y comparación de procesos empleados en la construcción del BD Bacatá vs Burj Khalifa. Trabajo de Grado. Bogotá D.C.: Universidad Piloto de Colombia. 2018. 1 p.
- ✓ SEOÁNEZ, Mariano. Tratado de climatología aplicada a la ingeniería medioambiental: Análisis climático Uso del análisis climático en los estudios medioambientales. Madrid.: Editorial Aedos, 2001. 45 p
- ✓ SMITH, Thomas. Ecología. 6ta ed. Madrid.: Editorial Pearson, 2007. P 52
- ✓ MASMAR. Temperatura.: La temperatura en la atmosfera. 2013. [En línea], 04 de Marzo de 2019. Disponible en Internet: <http://www.masmar.net/esl/Apuntes-N%C3%A1uticos/Meteorolog%C3%ADa/Temperatura.-la-temperatura-en-la-atm%C3%B3sfera>
- ✓ QUEREDA, José. Curso de climatología general. Castellón de la Plana, 2005. P 146
- ✓ Monroy, E. (2010). Introducción a la formulación de planes de manejo y protección de acuíferos. *Tunja, Colombia: Universidad Santo Tomás.*
- ✓ MERUANE, Carolina. Determinación de humedad en la atmosfera. 2006.
- ✓ ZAMORA, Juan Carlos. La humedad en las propiedades físicas del suelo. Universidad Nacional de Colombia, 2008.

- ✓ RUEDA, Omar Edgar. La salinidad: ¿Un problema o una opción?. México.: Editorial Plaza y Valdés. 2009. P 17.
- ✓ MI SISTEMA SOLAR. Salinidad: ¿Qué es?, salinidad del suelo, del mar y más. [En línea], 08 de Marzo de 2019. Disponible en internet: <http://misistemasolar.com/salinidad/>
- ✓ CAMPOS, Itzel. Trump Ocean Club Hotel & Tower. En: Panamá América. Junio, 2010. Vol. 1
- ✓ La guía. Panamá: Clima y vegetación. 7 de agosto de 2007. [En línea], 13 de marzo de 2019. Disponible en: <https://geografia.laguia2000.com/climatologia/panama-clima-y-vegetacion>
- ✓ El clima promedio en Panamá. [En línea]. Weather Spark. 13 de marzo 2019. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/19385/Clima-promedio-en-Panam%C3%A1-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- ✓ NUÑEZ, María. Respiración de dióxido de carbono de suelo, en bosque tropical húmedo – Gamboa Panamá. Panamá. RIDTEC., 2017. Vol. 13.
- ✓ Clima de Panamá. Un país de costas. [En línea], 15 de marzo de 2019. Disponible en: <https://www.clima-de.com/panama/>
- ✓ CASTILLO, Verónica. Establecimiento de una línea base de parámetros de calidad de agua marina costera para la evaluación de los posibles efectos del cambio climático en Punta Galeta, Playa Teta, Playa Hermosa y Playa La Marinera. Revista I+D Tecnológico. Universidad Tecnológica de Panamá. Vol. 12 Núm. 1 (2016).
- ✓ PRABYC Ingenieros. Detalle – Proyecto BD Bacatá – Bogotá. [En línea]. 24 de marzo de 2019. Disponible en: <http://www.prabyc.com.co/detalle-proyecto/bd-bacata--Bogotá>.
- ✓ Ramírez, L. El clima de Bogotá. Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaria general, 21 de noviembre de 2017. [En línea], revisado el 13 de marzo de 2019. Disponible en: <http://www.bogota.gov.co/ciudad/clima>.
- ✓ IDEAM. Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo. Alcandía mayor de Bogotá D.C. [En línea] 15 de marzo de 2019. P.27
- ✓ CANGREJO, Dense. Información geotécnica como elemento de análisis en la planeación y diseño de obras civiles en Bogotá. Bogotá., Ingeniería e investigación. 2005., vol. 25.
- ✓ Vargas, E. R. M., & Barón, C. 2018. La Fiducia mercantil inmobiliaria en el sector de la construcción en Colombia. Revista Ingeniería de Obras Civiles, 8(1), 33.
- ✓ IDEAM. Mapa nacional de degradación de suelos por salinización. 2017. p.18

- ✓ MAPFRE. Prontuario: Características técnicas de los terrenos y cimentaciones adecuadas a los mismos. [En línea], 22 de marzo de 2019. p. 4
- ✓ Prontuario: Características técnicas de los terrenos y cimentaciones adecuadas a los mismos. [En línea], 22 de marzo de 2019. Disponible en: https://www.mapfrere.com/reaseguro/es/images/Prontuario-Suelos-Cimentaciones_tcm636-27.pdf. p. 5
- ✓ MESA, Carlos. Características del suelo marino (lama) en Panamá. En: Revistas académicas UTP, Vol.1 (2002).
- ✓ PEREZ, Alejandro. NOTICRETO. BD Bacatá: Diseñando la cimentación del edificio más alto de Colombia. Edición 118. 2013. P 32.
- ✓ FLORES, Valeria. Análisis constructivo del BD Bacatá, Bogotá Colombia. Universidad de los Andes. [En línea], 23 de marzo de 2019. Disponible en: <http://portfolios.uniandes.edu.co/gallery/25155015/ARQU-2330-Sistemas-de-Construccion-y-Estimacion>

10. ANEXOS

Anexo A. [Comparativo constructivo entre el BD Bacatá y el Burj Khalifa](#)

Anexo B. [Análisis constructivo del BD Bacatá](#)

Anexo C. [Reglamento Estructural Panameño \(REP 2014\)](#)

Anexo D. [Registro Fotográfico- Construcción Bahia Grand Panama](#)

Anexo E. [Construcción del BD Bacatá – Poster](#)

Anexo F. [Poster semana de la investigación - Konrad Lorenz](#)

Anexo G. [Certificado de asistencia al VIII encuentro de semilleros de investigacion Konrad Lorenz](#)